

# Digitale Zwillinge für zukunftsfähige Gebäude

Berichte aus Energie- und Umweltforschung 50/2025

Wien, 2025

## Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur,  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination: Abteilung III/3 - Energie und Umwelttechnologien

Leitung: DI (FH) Volker Schaffler, MA, AKKM

Autorinnen und Autoren:

Michael Fuchs, Michael Monsberger, Martin Krammer (Institut für Bauphysik,  
Gebäudetechnik und Hochbau, TU Graz)

Moritz Amberger, Gerhard Zucker (AIT Austrian Institute of Technology GmbH)

Konrad Diwold, Lukas Krammer (Siemens AG Österreich)

Michael Krisper (Pro2Future GmbH)

Alfred Waschl (buildingSMART Austria)

Wien, 2025. Stand: 2024

Ein Projektbericht gefördert im Rahmen von



Rückmeldungen:

Ihre Überlegungen zu vorliegender Publikation übermitteln Sie bitte an [iii3@bmimi.gv.at](mailto:iii3@bmimi.gv.at).

## **Rechtlicher Hinweis**

Dieser Ergebnisbericht wurde von die/der Projektnehmer:in erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit, Aktualität sowie die barrierefreie Gestaltung der Inhalte übernimmt das Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur (BMIMI) keine Haftung.

Mit der Übermittlung der Projektbeschreibung bestätigt die/der Projektnehmer:in ausdrücklich, über sämtliche für die Nutzung erforderlichen Rechte – insbesondere Urheberrechte, Leistungsschutzrechte sowie etwaige Persönlichkeitsrechte abgebildeter Personen – am bereitgestellten Bildmaterial zu verfügen.

Die/der Projektnehmer:in räumt dem BMIMI ein unentgeltliches, nicht ausschließliches, zeitlich und örtlich unbeschränktes sowie unwiderrufliches Nutzungsrecht ein, das übermittelte Bildmaterial in allen derzeit bekannten sowie künftig bekannt werdenden Nutzungsarten für Zwecke der Berichterstattung, Dokumentation und Öffentlichkeitsarbeit im Zusammenhang mit der geförderten Maßnahme zu verwenden, insbesondere zur Veröffentlichung in Printmedien, digitalen Medien, Präsentationen und sozialen Netzwerken.

Für den Fall, dass Dritte Ansprüche wegen einer Verletzung von Rechten am übermittelten Bildmaterial gegen das BMIMI geltend machen, verpflichtet sich die/der Projektnehmer:in, das BMIMI vollständig schad- und klaglos zu halten. Dies umfasst insbesondere auch die Kosten einer angemessenen rechtlichen Vertretung sowie etwaige gerichtliche und außergerichtliche Aufwendungen.

## **Vorbemerkung**

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Stadt der Zukunft“ des Bundesministeriums für Innovation, Mobilität und Infrastruktur (BMIMI). Dieses Programm baut auf dem langjährigen Programm „Haus der Zukunft“ auf und hat die Intention, Konzepte, Technologien und Lösungen für zukünftige Städte und Stadtquartiere zu entwickeln und bei der Umsetzung zu unterstützen. Damit soll eine Entwicklung in Richtung energieeffiziente und klimaverträgliche Stadt unterstützt werden, die auch dazu beiträgt, die Lebensqualität und die wirtschaftliche Standortattraktivität zu erhöhen. Eine integrierte Planung wie auch die Berücksichtigung aller betroffener Bereiche wie Energieerzeugung und -verteilung, gebaute Infrastruktur, Mobilität und Kommunikation sind dabei Voraussetzung.

Um die Wirkung des Programms zu erhöhen, sind die Sichtbarkeit und leichte Verfügbarkeit der innovativen Ergebnisse ein wichtiges Anliegen. Daher werden nach dem Open Access Prinzip möglichst alle Projektergebnisse des Programms in der Schriftenreihe des BMIMI publiziert und elektronisch über die Plattform [www.NachhaltigWirtschaften.at](http://www.NachhaltigWirtschaften.at) zugänglich gemacht. In diesem Sinne wünschen wir allen Interessierten und Anwender:innen eine interessante Lektüre.



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Kurzfassung</b> .....	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>Abstract</b> .....	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>Ausgangslage</b> .....	<b>12</b>
	3.1.1. Beispiele nationaler Forschungsprojekte im Bereich digitaler Gebäudezwillinge ....	18
<b>4</b>	<b>Projekthalt</b> .....	<b>24</b>
<b>5</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>27</b>
	5.1. UCK Intelligente Bauteile (smart.tag) .....	27
	5.1.1. Vision der UCK smart.tag .....	27
	5.1.2. Ziele der UCK smart.tag .....	28
	5.1.3. Anforderungen an die UCK smart.tag.....	28
	5.1.4. Abhängigkeiten der UCK.....	30
	5.1.5. SWOT-Analyse der UCK smart.tag.....	31
	5.1.6. Umsetzung Richtung Leuchtturmprojekt .....	31
	5.1.7. Zielgruppen und notwendige Kompetenzen .....	32
	5.1.8. Herausforderungen und rechtliche Hürden bei der Umsetzung.....	33
	5.1.9. Einfügung in das Programm Stadt der Zukunft .....	34
	5.2. UCK Twin-gestützte Fabrikation mittels openBIM (open.fab).....	34
	5.2.1. Vision der UCK open.fab.....	34
	5.2.2. Ziele der UCK open.fab .....	34
	5.2.3. Anforderungen an die UCK open.fab.....	35
	5.2.4. Abhängigkeiten der UCK.....	36
	5.2.5. SWOT-Analyse der UCK open.fab.....	37
	5.2.6. Umsetzung Richtung Leuchtturmprojekt .....	37
	5.2.7. Zielgruppen und notwendige Kompetenzen .....	38
	5.2.8. Herausforderungen .....	39
	5.2.9. Einfügung in das Programm Stadt der Zukunft .....	40
	5.3. UCK Bau- und Betriebsoptimierung mit bauablaufintegriertem asBuilt-Modell (asBuilt2Work).....	40
	5.3.1. Vision der UCK asBuilt2Work.....	40
	5.3.2. Ziele der UCK asBuilt2Work.....	41
	5.3.3. Anforderungen an die UCK asBuilt2Work .....	42
	5.3.4. Abhängigkeiten.....	42
	5.3.5. SWOT-Analyse UCK asBuilt2Work.....	43
	5.3.6. Umsetzung Richtung Leuchtturmprojekt .....	44
	5.3.7. Zielgruppen und notwendige Kompetenzen .....	44
	5.3.8. Herausforderungen und rechtliche Aspekte bei der Umsetzung.....	45

5.3.9.	Einfügung in das Programm Stadt der Zukunft .....	46
5.4.	UCK Energieeffizienz in der Heizungs-, Lüftungs-, Klimatechnik (enEff).....	47
5.4.1.	Vision der UCK enEff .....	47
5.4.2.	Ziele der UCK enEff .....	47
5.4.3.	Anforderungen an die UCK enEff.....	48
5.4.4.	Abhängigkeiten der UCK.....	49
5.4.5.	SWOT-Analyse der UCK enEff .....	50
5.4.6.	Umsetzung Richtung Leuchtturmprojekt .....	50
5.4.7.	Zielgruppen und notwendige Kompetenzen .....	51
	Zielgruppen .....	51
	Kompetenzen .....	51
5.4.8.	Herausforderungen und rechtliche Hürden bei der Umsetzung.....	52
5.4.9.	Einfügung in das Programm Stadt der Zukunft .....	53
5.5.	UCK Twin-basierter Gebäudebetrieb (BTWIN) .....	53
5.5.1.	Vision der UCK BWTIN .....	53
5.5.2.	Ziele der UCK BTWIN .....	54
5.5.3.	Anforderungen an die UCK BTWIN.....	54
5.5.4.	Abhängigkeiten der UCK.....	55
5.5.5.	SWOT-Analyse UCK BTWIN.....	56
5.5.6.	Umsetzung Richtung Leuchtturmprojekt .....	56
5.5.7.	Zielgruppen und notwendige Kompetenzen .....	58
5.5.8.	Herausforderungen und Rechtliche Hürden bei der Umsetzung .....	59
5.5.9.	Einfügung in das Programm Stadt der Zukunft .....	60
<b>6</b>	<b>Schlussfolgerungen .....</b>	<b>61</b>
6.1.	Im Projekt gewonnene Erkenntnisse: Technische und nicht-technische Forschungsfragen je Use-Case-Kette (FE&D-Maßnahmen).....	61
6.1.1.	Forschungsfragen UCK „smart.tag“ .....	62
6.1.2.	Forschungsfragen UCK „open.fab“ .....	62
6.1.3.	Forschungsfragen UCK „asBuilt2Work“ .....	63
6.1.4.	Forschungsfragen UCK „enEff“ .....	63
6.1.5.	Forschungsfrage UCK „BTWIN“ .....	64
6.2.	Zielgruppen und erforderliche Kompetenzen.....	65
6.3.	Generelle Herausforderungen und rechtliche Aspekte bei der Umsetzung der Use-Case-Ketten .....	66
6.3.1.	Vergabeverfahren und Datendurchgängigkeit .....	67
6.3.2.	Austausch-Informationsanforderungen und BIM-Abwicklungsplan .....	67
6.3.3.	Gemeinsame Haftungen.....	67
6.3.4.	Sandbox - Projektumgebung .....	68
6.3.5.	Datenschutz .....	68

6.4. Verwertungspotential.....	68
<b>7 Ausblick und Empfehlungen.....</b>	<b>70</b>
7.1. Empfehlungen für weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten.....	70
7.1.1. Roadmap.....	71
7.1.2. Forschungs- und Demonstrationsschwerpunkte (FDS) .....	72
7.1.3. Handlungsempfehlungen – Reallabore und Leitprojekte.....	78
7.2. Potenzial für Demonstrationsvorhaben.....	80
<b>8 Verzeichnisse.....</b>	<b>83</b>

# 1 Kurzfassung

## **Motivation und Forschungsfrage**

Digitalisierungskonzepte finden im Bauwesen zunehmend Anwendung und sind ein wesentliches Werkzeug zur Erreichung wichtiger Zielsetzungen des "European Green Deals". Ein Beispiel dafür ist Building Information Modeling (BIM), also die Kombination von 3D-Modellen mit umfassenden Informationen zu im Objekt verorteten Entitäten und objektspezifischen Prozessen. Während BIM bereits häufig im Kontext des Entwurfs, der Planung, der Ausführung und des Facility Managements Anwendung findet, stellt die Kombination solcher Modelle mit weiterführenden Echtzeitdaten und Simulationen, also die Realisierung digitaler Zwillinge, noch ein beträchtliches Potential dar, um bestehende Prozesse in den jeweiligen Lebenszyklusphasen eines Gebäudes zu optimieren. Aufgrund der komplexen Strukturen von Bauprojekten und der heterogenen Stakeholder-Landschaft hat sich der Einsatz digitaler Zwillinge, trotz gegebener Vorteile, bisher nicht in der Baupraxis etabliert. Es gilt somit Maßnahmen und Strategien zu entwickeln sowie in weiterer Folge Best-Practices zu demonstrieren, die zu einer stärkeren Anwendung dieses vielversprechenden Ansatzes führen.

## **Ausgangssituation/Status Quo**

Obwohl digitale Zwillinge in anderen Industriesektoren bereits erfolgreich in der Praxis zum Einsatz kommen, werden Anwendungen in der Bau- und Immobilienwirtschaft bislang primär im Rahmen von Forschungs- und Demonstrationsprojekten untersucht. Das Spektrum reicht dabei von Themen wie Energiemanagement auf Gebäude- und Quartiersebene über die Optimierung von Baustellenlogistik bis hin zur Steigerung der Nutzungs- und Betriebsqualität von Gebäuden mittels modellbasierter Services. Dies unterstreicht, dass digitale Zwillinge auch in der Bau- und Immobilienbranche ein großes Potential haben. Trotz dieses Potentials ist eine Anwendung in der Praxis bisher kaum gegeben. Neben technologischen Herausforderungen spielen dabei auch die spezifischen und oft herausfordernden Rahmenbedingungen in der Bau- und Immobilienwirtschaft eine Rolle sowie der bisweilen hohe Aufwand bei der Erstellung und Wartung des Zwillings bzw. das entsprechend ungünstige Verhältnis zwischen Aufwand und Nutzen.

## **Projekthalte und Zielsetzungen**

Die übergeordnete Zielsetzung dieses Sondierungsprojekts bestand daher in der Aufbereitung von Anwendungsfällen digitaler Gebäudezwillinge, die ein hohes Potential zur Überwindung momentan gegebener Herausforderungen und Hemmnisse aufweisen und welche in Folgeprojekten als Best-Practices demonstriert werden können. Dafür wurden folgende konkrete Projektziele verfolgt: Systematisierung, Bewertung, Priorisierung und Bündelung von Use-Cases digitaler Gebäudezwillinge; Ermittlung des Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsbedarfs (FE&D-Bedarf) und Erstellung einer Roadmap zur Umsetzung entsprechender FE&D-Maßnahmen; Vorbereitung von Folgeaktivitäten.

## **Methodische Vorgehensweise**

Dazu wurden im vorliegenden Sondierungsprojekt Anwendungsszenarien digitaler Gebäudezwillinge unter Einbeziehung von Branchen-Stakeholdern im Zuge einer gesamtheitlichen Charakterisierung hinsichtlich ihrer Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken (SWOT-Analyse) bewertet. Ziel war die

Identifikation von ökologisch und ökonomisch erfolgversprechenden Anwendungsszenarien. Um die Durchgängigkeit des Zwillings über Lebenszyklusphasen hinweg zu gewährleisten, wurde auf Realisierungsmöglichkeiten auf Basis offener Systeme und Standards (z.B. IFC) geachtet. Es erfolgte eine Bündelung von kohärenten Anwendungsfällen in Use-Case-Ketten, welche in einem Folgeprojekt untersucht und demonstriert werden sollen. Dazu wurden mittels einer Gap-Analyse bestehende Forschungslücken identifiziert und daraus der FE&D-Bedarf für eine Weiterentwicklung und Demonstration der Use-Case-Ketten formuliert. Zudem wurden übergeordnete Forschungs- und Demonstrationsschwerpunkte (FDS) abgeleitet und in einer Roadmap für weiterführende FE&D-Aktivitäten für digitale Zwillinge zusammengefasst.

### **Ergebnisse und Schlussfolgerungen**

Im Projekt wurde zunächst eine systematisierte Zusammenstellung von Anwendungsfällen (Use-Cases) digitaler Gebäudezwillinge erarbeitet, auf deren Basis in weiterer Folge Use-Case-Ketten entwickelt wurden. Die Analyse bestehender Anwendungsfälle ergab, dass vor allem die mangelnde durchgängige (d.h. projektphasenübergreifende) Nutzbarkeit von digitalen Gebäudemodellen ein wesentliches Hemmnis und damit zu lösendes Problem darstellt. Dies führte zur Idee und Entwicklung des Konzepts der Use-Case-Kette und der Ausarbeitung von fünf konkreten Use-Case-Ketten im Rahmen des Projekts. Use-Case-Ketten sind ein neuer Ansatz, der darauf abzielt, Bündel priorisierter Use-Cases zu bilden, welche aufeinander aufbauen und mehrere Stakeholder in unterschiedlichen Lebenszyklusphasen betreffen. Durch Priorisierung in einem Bauprojekt auf solche Ketten entsteht ein hoher Nutzen für unterschiedliche Projektbeteiligte entlang der Projektphasen und Wertschöpfungskette. Durch Weitergabe und aufbauende synergetische Nutzung des digitalen Zwillings ist ein optimiertes Verhältnis von Nutzen zu Aufwand gegeben. Bei der Erarbeitung der Use-Case-Ketten wurde durch Einbeziehung von Stakeholdern vor allem deren Umsetzbarkeit sowie der zu erwartende Nutzen evaluiert. Das erhaltene Stakeholder-Feedback zeigt, dass die entwickelten Use-Case-Ketten ein hohes technologisches und wirtschaftliches Potential aufweisen und deren Entwicklung und Demonstration in einem Folgeprojekt plausibel, machbar und zielführend ist. Zusätzlich zu den spezifischen FE&D-Maßnahmen für die Use-Case-Ketten wurde der übergeordnete Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsbedarf zur Weiterentwicklung und praktischen Etablierung digitaler Gebäudezwillinge mittels allgemeiner Forschungs- und Demonstrations-schwerpunkte in einer Roadmap abgebildet.

### **Ausblick**

Die Roadmap ist ein Werkzeug zur zukünftigen Ausrichtung und Gestaltung von Forschungs- und Innovationsaktivitäten im Bereich digitaler Gebäudezwillinge sowohl für Förderstellen hinsichtlich Programmgestaltung als auch für innovative Unternehmen und Forschungseinrichtungen. Ziel ist es, die in der Roadmap aufgezeigten FE&D-Maßnahmen im Rahmen weiterführender Forschungs- und Demonstrationsprojekte zielgerichtet umzusetzen. Dazu wurden konkrete Handlungsempfehlungen formuliert. Die Umsetzung könnte beispielsweise in Form von Reallaboren erfolgen, deren Ausgangspunkt wiederum Leitprojekte sein können. Dabei gilt es, die angestrebten und in der Roadmap abgebildeten Innovationsziele anhand repräsentativer Bau- und Immobilienprojekte zu bearbeiten und multiplizierbare und skalierbare Lösungsansätze zu entwickeln und zu demonstrieren.

## 2 Abstract

### **Motivation and research question**

Digitalization, which is increasingly being used in the construction industry, is a key method for achieving important objectives of the “European Green Deal”. This includes, for example, Building Information Modeling (BIM), i.e. the combination of 3D models with comprehensive information on entities located in buildings and building-specific processes. While BIM is already commonly used in the context of design, planning, execution and facility management, the combination of such models with further real-time data and simulations, i.e. the realization of digital twins, still holds considerable potential for optimizing existing processes in the different life cycle phases of a building. Due to the complex structures of construction projects and the heterogeneous stakeholder landscape, digital twins are not yet commonly used in construction practice, despite the potential advantages. It is therefore necessary to develop measures and strategies and to demonstrate best practices that will lead to greater use of this promising approach.

### **Initial situation/status quo**

While digital twins have already been successfully applied in many industrial sectors, applications in the construction and real estate industries have so far primarily been investigated in research and demonstration projects. Applications range from energy management at the level of single buildings or districts to the optimization of construction site logistics and increasing the quality of use and operation of buildings using model-based services. This underlines the great potential of digital twins in the construction and real estate industries. Despite this potential, digital twins have hardly been used in practice so far. This is due to technological challenges but also to the specific and often challenging environment in the construction and real estate industries. Moreover, creating and maintaining a digital twin is resource intensive, which often leads to an unfavourable outcome in the trade-off between effort and benefit.

### **Project contents and objectives**

The overarching objective of this project was to prepare use cases of digital building twins that have a high potential for overcoming current challenges and obstacles and which can be demonstrated as best practices in follow-up projects. The following specific project objectives were pursued: systematization, evaluation, prioritization and bundling of use cases of digital building twins; identifying research, development and demonstration needs (RD&D needs) and creating a roadmap for the implementation of RD&D measures; preparation of follow-up activities.

### **Methodical procedure**

In this project, use cases for digital building twins were evaluated by characterizing their strengths, weaknesses, opportunities and risks (SWOT analysis), involving industry stakeholders. The aim was to identify ecologically and economically promising application scenarios. In order to ensure the consistency of the twin across life cycle phases, attention was paid to implementation options based on open systems and standards (e.g. IFC). Coherent use cases were bundled into use case chains, which are to be examined and demonstrated in a follow-up project. By means of a gap analysis, existing research gaps were identified to define the FE&D needs for further development and

demonstration of the use case chains. In addition, overarching research and demonstration priorities were derived and summarized in a roadmap for further RD&D activities for digital twins.

## **Results and conclusions**

A systematized compilation of use cases for digital building twins was created, on the basis of which use case chains were developed. The analysis of existing use cases has revealed that the lack of consistent usability of digital building models across the different project phases was a major obstacle and therefore a problem that needed to be solved. This led to the idea and development of the use case chain concept and the development of five specific use case chains in this project. Use case chains are a new approach that aims to create bundles of prioritized use cases that build on each other and affect several stakeholders in different life cycle phases. By prioritizing such chains in a construction project, a high level of benefit is created for different project participants along the project phases and value chain. Due to the synergetic use of the digital twin, an optimized trade-off between effort and benefit is achieved. When developing the use case chains, the main focus was on evaluating their feasibility and the expected benefits by involving stakeholders. The received stakeholder feedback has shown that the developed use case chains have a high technological and economic potential and that their development and demonstration in a follow-up project is plausible, feasible and expedient. In addition to the specific RD&D measures for the use case chains, the overarching research, development and demonstration needs for further development and practical establishment of digital building twins were summarized in a roadmap.

## **Outlook**

The developed roadmap is a tool for future orientation and design of research and innovation activities in the field of digital building twins, both for funding bodies in terms of program design and for innovative companies and research institutions. The aim is to implement the RD&D measures identified in the roadmap in further research and demonstration projects. The roadmap includes specific recommendations for action. Measures could, for example, be implemented in lead projects, which in turn could be the starting point for real-world laboratories. The aim is to work on the innovation goals set out in the roadmap in representative construction and real estate projects and to develop and demonstrate multipliable and scalable solutions.

# 3 Ausgangslage

Der Einsatz von digitalen Gebäudezwillingen hat in den letzten Jahren stark zugenommen. Digitale Zwillinge sind digitale Repräsentationen von realen Gebäuden oder Anlagen, die es ermöglichen, verschiedene Aspekte des Gebäudes oder der Anlage zu simulieren und zu optimieren. Digitale Zwillinge können über alle Lebenszyklusphasen eines Gebäudes hinweg eingesetzt werden, um Prozesse in verschiedenen Phasen eines Gebäudes abzubilden. Die Realisierung digitaler Zwillinge durch die Kombination von semantisch angereicherten 3D-Modellen mit Echtzeitdaten und Simulationen bietet zwar beträchtliches Potential, allerdings hat sich der Einsatz digitaler Zwillinge in der Baupraxis aufgrund der komplexen Strukturen von Bauprojekten und der heterogenen Stakeholder-Landschaft bisher nicht großflächig etabliert. Dies liegt daran, dass die Mehrwerte solcher Systeme für die Stakeholder nicht direkt ersichtlich sind und einige Rahmenbedingungen für Entwurf, Betrieb und Wartung solcher Systeme noch nicht klar sind. Der Vorteil ergibt sich oft erst über die Jahre und nach mehreren Veränderungen bzw. Umbauten von Gebäuden und ist daher während der Planungsphase oft unklar bzw. schwer abschätzbar. Was jedoch unmittelbar anfällt, ist ein initial höherer Aufwand aufgrund der notwendigen Erstellung und Pflege des digitalen Zwillings. Diese Problematik führt in der Praxis häufig dazu, dass digitale Zwillinge nicht (oder nur teilweise) eingesetzt werden, um die initialen Kosten niedriger zu halten, womit Potentiale und Vorteile, die sich aus einer Anwendung ergeben würden, ungenutzt bleiben.

Bevor diese Problematik näher ausgeführt wird, wird zunächst auf die Vorteile bzw. den aktuellen Stand der Technik von Digitalisierung, Digital Twins und Building Information Modeling (BIM) in der Bau- und Immobilienwirtschaft eingegangen.

Erstmalig wurde das Konzept eines digitalen Zwillings von Grieves im Jahr 2003 auf einer Präsentation zum Thema Product Lifecycle Management vorgestellt, die im Kontext der Raumfahrtindustrie stattfand (Grieves 2014). In seiner Definition beschrieb er einen digitalen Zwilling als eine virtuelle Repräsentation von physischen Produkten. Damals war die digitale Darstellung von Produkten noch neu. Produktinformationen waren meist nur begrenzt verfügbar und wurden oft nur auf Papier bereitgestellt. Ursprünglich bestand ein digitaler Zwilling aus drei Komponenten: dem physischen Produkt, dem virtuellen Produkt und den Schnittstellen. Dank der Digitalisierung und Fortschritte in Technologiefeldern wie dem Internet der Dinge (IoT), Sensor-Technologie, Data Analytics und Simulationen hat der digitale Zwilling in den vergangenen Jahrzehnten in vielen Industriesparten Einzug gehalten (Tao et al. 2017). Dadurch wurde die ursprüngliche Definition des digitalen Zwillings angepasst und erweitert, so dass es nun keine einheitliche Definition mehr gibt. Stattdessen variiert die Definition oft je nach Anwendungsbereich. Um das zu verdeutlichen, können drei Definitionen aus den Bereichen Raumfahrt und Produktionstechnik genannt werden. Glaessgen et al. (2012) definieren einen digitalen Zwilling als "eine hochgenaue, multiphysikalische, multiskalare, probabilistische Simulation, die den Zustand des physischen Zwillings anhand von historischen Daten, Echtzeit-Sensordaten und physischen Modellen zeitnah widerspiegelt". Hingegen beschreibt Maurer (2017) einen digitalen Zwilling als digitale Darstellung, die es ermöglicht, Produktionsprozesse und Produktverhalten abzubilden. Garetti et al. (2012) definieren einen digitalen Zwilling als "virtuelle Repräsentation eines Produktionssystems, die es durch unterschiedliche Simulationen, Sensordaten, mathematische Modelle und Echtzeit-Datenanalyse ermöglicht, die virtuelle Repräsentation mit dem echten System zu synchronisieren, um das

Verhalten des Produktionssystems in jeder Phase des Lebenszyklus vorherzusagen und zu optimieren". Es gibt jedoch noch viele weitere Definitionen, wie Jones et al. (2020) zeigen.

Im Bereich der produzierenden Industrie wird der digitale Zwilling hauptsächlich in den Bereichen Design, Produktion und Prognostik sowie Gesundheitsmanagement eingesetzt. Simulationen sind dabei ein zentraler Bestandteil der Anwendung eines digitalen Zwillings. Die Ausgestaltung eines digitalen Zwillings und die zugrundeliegenden Methoden hängen stark vom jeweiligen Anwendungskontext ab. Zum Beispiel erfordern unterschiedliche Problemstellungen unterschiedliche "Twinning Rates", also eine Anpassung der Simulation an die Realität. Dies führt zu einer Vielfalt an Arten von digitalen Zwillingen mit unterschiedlichen Eigenschaften. Um eine Standardisierung der Ansätze zu erreichen, hat die Object Management Group (OMG) das Digital Twin Consortium ins Leben gerufen (DigitalTwinConsortium 2024).

Das Konzept eines digitalen Zwillings findet immer mehr Aufmerksamkeit im Bereich des Bauwesens und verwandter Disziplinen wie dem Facility Management. Dies ist hauptsächlich auf die Entwicklung von Building Information Modelling (BIM) Tools zurückzuführen, die es ermöglichen, Gebäudeinformationen bereits während der Planungsphase zu erstellen, zu speichern und auszutauschen. BIM-Modelle bilden oft das Zentrum eines digitalen Zwillings im Bauwesen. Es gibt zwei Arten von BIM-Formaten: closedBIM und openBIM. ClosedBIM-Formate sind herstellerspezifisch und erfordern die Verwendung spezifischer Planungssoftware, was zu einem Vendor Lock-In führen kann. Im Gegensatz dazu ermöglichen offene BIM-Formate (openBIM) branchenübergreifende Verwendung neutraler Dateiformate wie zum Beispiel die Industry Foundation Classes (IFC) (Laakso 2012). BuildingSMART ist die internationale Instanz für die Standardisierung von openBIM und hat eine Arbeitsgruppe für digitale Zwillinge eingerichtet, die sich mit Standards für Datenmodellierung, Datenmanagement, Integration und Datensicherheit beschäftigt. Die Organisation strebt auch eine enge Zusammenarbeit mit anderen Standardisierungsorganisationen wie dem Digital Twin Consortium der Object Management Group an.

Wie auch in der Produktionsindustrie findet der digitale Zwilling in der Bau- und Immobilienbranche in vielen Phasen des Lebenszyklus Anwendungsmöglichkeiten. Es gibt unterschiedliche Arten von digitalen Zwillingen in dieser Branche, die für verschiedene Anwendungsbereiche wie Stadtplanung, Bau, Energiemanagement und Facility Management in unterschiedlichen Abstraktionsstufen eingesetzt werden. Das Sondierungsprojekt TWIN hat das Ziel, ganzheitliche digitale Zwillinge zu entwickeln, die verschiedene Phasen des Lebenszyklus abdecken. In den folgenden Abschnitten wird der aktuelle Stand der Forschung und des Wissens in verschiedenen Anwendungsbereichen der Bau- und Immobilienbranche dargestellt. Um umfassende digitale Zwillinge zu realisieren, sind die bestehenden Lösungen und Ansätze ein entscheidender Ausgangspunkt, wobei die Harmonisierung und Integration dieser Lösungen über verschiedene Phasen des Lebenszyklus hinweg angestrebt werden sollte, um essentielle Dienste für eine Vielzahl von Interessengruppen bereitzustellen.

Die Stadtplanung ist ein viel erforschter Anwendungsbereich für digitale Zwillinge. Verschiedene Technologien wie mobile Scanner, Drohnen, Geospatial Artificial Intelligence, Geospatial Augmented Reality Apps und Sensorik eignen sich für die Erfassung und Darstellung von Daten, um digitale Zwillinge von Städten zu erstellen (Shirowzhan et al. 2020). Forschende haben Mehrschichtenmodelle und Systemarchitekturen entwickelt, um eine Zwillings-Instanz zu realisieren, die aus verschiedenen Layern wie Data Acquisition Layer, Transmission Layer, Digital Modeling Layer,

Data/Model Integration Layer und Service Layer besteht (Lu et al. 2020). Das Datenmanagement ist die größte Herausforderung bei der Realisierung von digitalen Zwillingen, da es eine Vielzahl von heterogenen Datenquellen und Zwillingsinstanzen gibt, die miteinander synchronisiert und integriert werden müssen. Forschende haben sogar digitale Zwillinge für die Stadt Zürich (Schrotter und Huerzeler, 2020) oder die Energiemodellierung von ganzen Städten entwickelt (Tian et al. 2015). Der digitale Zwilling der Stadt Zürich nutzt 3D-Geodaten als Schnittstelle zwischen realer und digitaler Abbildung und ermöglicht die Erfassung der Auswirkungen von Bauprojekten auf Stadtklima, Verkehr oder Mobilität. Die Energiemodellierung von Städten umfasst die automatisierte Ableitung von Gebäude-Geometrien für die Energiemodellierung und die Erstellung von Zeit-Benchmarks für Gebäudeeffizienz auf der Grundlage von Smart Meter-Energieverbrauchsdaten. Digitale Zwillinge haben das Potenzial, eine Grundlage für digitale städtische Energiemanagementplattformen zu bilden und in flexiblem städteübergreifenden Energiemanagement oder im Kontext der Bereitstellung von Netzdienstleistungen eingesetzt zu werden. Eine weitere Anwendungsdomäne von digitalen Zwillingen im Stadtkontext stellt das Katastrophenmanagement dar. In Ford und Wolf (2020) erfolgte der Entwurf eines digitalen Zwillings einer Smart City im Kontext von Katastrophenmanagement. Der Fokus der Systemarchitektur lag hier auf der Abbildung und Modellierung spezifischer kritischer Infrastruktur und der modellbasierten Katastrophenvorsorge auf Basis von Echtzeit-Sensordaten.

Auch im Bauprozess besteht durch den Einsatz von digitalen Zwillingen erhebliches Optimierungspotential. Im Rahmen des Projekts BIM2TWIN (siehe BIM2TWIN 2024) erfolgt der Entwurf einer digitalen Gebäudewillings-Plattform, welche im Rahmen der Ausführung zum Einsatz kommen soll, um Lean-Construction während der Bauphase zu ermöglichen. Die BIM2TWIN-Plattform soll dazu dienen, den Bauprozess und die damit einhergehenden Prozesse zu planen und zu optimieren und somit die Qualität und Sicherheit zukünftiger Bauvorhaben zu heben und deren Nachhaltigkeit zu optimieren.

BIM2TWIN soll allen im Bauvorhaben involvierten Stakeholdern zu jeder Zeit eine Übersicht über den Stand der Entwicklungen ermöglichen und entsprechende Monitoring-Services im Rahmen der Bauleitung zur Verfügung stellen. Die Services umfassen die Überwachung von Projektstatus, Zeitplan, Material und Budget, Qualität, Sicherheit und Umweltauswirkungen. Kernstück der Plattform ist das sogenannte Project Status Model (PSM). Im BIM2TWIN-Ansatz entspricht das PSM einem Graphenmodell, welches eine semantische Verknüpfung zwischen BIM und Echtzeitdaten der Baustelle und Versorgungskette (in unterschiedlichen Datenformaten) sicherstellt und darauf aufbauend die Realisierung übergeordneter Services mittels einheitlicher Schnittstellen ermöglicht.

Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) stellt einen wesentlichen Katalysator von Digitalisierung dar (Kotarba, 2017). In dem EU Horizon 2020 Projekt SPHERE (Service Platform to Host and sharE REsidential data) erfolgt die Entwicklung einer integrierten IKT-Plattform für Bürger\*innen, Architekt\*innen, Engineering & Construction (AEC) Interessengruppen sowie Stadtverwaltungen und Stadtentwickler (siehe SPHERE-Projekt 2024 sowie Alonso et al. 2019). Die Plattform soll eine Interaktion der unterschiedlichen Stakeholder in den unterschiedlichen Lebensphasen eines Gebäudes (Planung, Bau, Betrieb) ermöglichen. SPHERE verfolgt einen Platform-as-a-Service (PaaS) Gedanken und möchte Stakeholder-übergreifende Zusammenarbeit mittels eines Integrated Design and Delivery Solutions (IDDS) Frameworks sicherstellen. Ziel der SPHERE-Plattform ist eine Bereitstellung von Services für alle Stakeholder von Beginn des Bauprozesses an, um während der

Ausführungsphase eine Verbesserung des Bauprozesses und im operativen Betrieb eine Verbesserung des Raumklimas und der Energieeffizienz zu ermöglichen.

Technologien wie Augmented Reality (AR) erlauben die Bereitstellung neuer Services und erweitern damit den Funktionsraum von Gebäudezwillingen. Im Rahmen des EU Horizon 2020 Projekts ARTwin erfolgt die Entwicklung einer AR Cloud-Plattform (Augmented Reality Cloud-Plattform) für Industrie und Bauwesen (siehe ARTWIN 2024). Mittels des Systems soll ein digitaler Zwilling oder ein BIM-Modell direkt in der Fabrik oder auf der Baustelle realisiert werden können, um eine Vielzahl von Diensten wie AR-gestützte Gerätelokalisierung und BIM-Echtzeitaktualisierung bereitzustellen. ARTwin sieht eine cloudbasierte Datenverarbeitung (z.B. AR-Rendering) und Service Orchestrierung unter dem Einsatz von 5G vor, um Echtzeitfähigkeit zu garantieren.

Facility Management und Gebäudesimulationen stellen einen weiteren Anwendungsschwerpunkt digitaler Zwillinge dar. So erfolgt im Rahmen des Forschungsprojekts „Digitaler Zwilling“ (siehe DIGITALER ZWILLING 2024) die Kopplung eines Passivhaushochhauses in Österreich mit einem virtuellen Gebäudezwilling, dem sogenannten „Building-Tracker“. Hierbei wird Monitoring und Simulation durch virtuelle Sensoren im Rahmen des Gebäudeenergiemanagements gekoppelt, um ein Nearly-ZeroEnergy-Building zu realisieren. Im Betrieb wird mittels „Building-Tracker“ der tatsächliche Energiebedarf des Hauses sowie die darauf einflussnehmenden externen (z. B. Wetter, Umgebungstemperatur) und internen (z. B. Nutzer\*innen-Verhalten) Parameter in Echtzeit erfassbar und beobachtbar gemacht. Kombiniert mit Aspekten der Netzdienlichkeit und der Integration und Nutzung von erneuerbaren Energien mittels „Building-Tracker“ sollen mögliche Ursachen für Leistungslücken in Echtzeit erkannt und behoben werden. Das Konzept soll in weiterer Folge auch auf andere Gebäude und auch Gebäudeverbände angewendet und übertragen werden.

Ein weiteres IKT-Projekt stellt das EU Horizon 2020 Projekt Arrowhead Tools dar (siehe ARROWHEAD 2024). Im Rahmen des Projekts werden neue Digitalisierungs- und Automatisierungslösungen in Form von gezielten Open-Source-Lösungen erarbeitet, um eine kosteneffiziente Entwicklung von Digitalisierungs-, Konnektivitäts- und Automatisierungssystem-Lösungen zu ermöglichen. Eine Pilotanwendung des Projekts wurde in einem Forschungsgebäude von Infineon Austria am Standort Villach demonstriert. Mittels Arrowhead Tools erfolgte die Entwicklung eines digitalen Gebäudezwillings zur Optimierung der Gebäudetechnik in Echtzeit. Dadurch kann die Energieeffizienz erhöht und automatisiert ein ideales Raumklima geschaffen werden. Wie in anderen artverwandten Projekten wurde der digitale Zwilling durch eine Koppelung von Live-Daten, Gebäudesimulation und Automatisierungstechnik realisiert.

Das nationale FFG Forschungsprojekte PEAR (siehe Hauer et al. 2019) untersucht, evaluiert und optimiert energieeffiziente Heizungs-, Klima-, Lüftungs- und Sanitäreanlagen (HKLS) hinsichtlich ihrer Regelstrategien, mit dem Hauptziel einer Verkürzung der Inbetriebnahme sowie einem durchgängig energieoptimierten Betrieb bei gleichbleibender Behaglichkeit. In diesem Zusammenhang wurde der sogenannte Hardware-in-the-Loop (HIL) Ansatz herangezogen und erweitert, um damit auch Anwendungsfelder in der Baubranche im Bereich Gebäude- und HKLS-Anlagen zu erschließen. HIL, und damit die Verwendung von digitalen Zwillingen, ist z. B. in der Automobilbranche Stand der Technik, da dieser Ansatz unter anderem für das Testen von (realen) Steuergeräten mit (virtuellen) Fahrzeugen eingesetzt wird. In PEAR verbindet Hardware-in-the-Loop die Gebäudeautomations-Hardware mit einer Simulationsumgebung, um so das Zusammenspiel zwischen Regelung und (simulierten) Energiesystemen zu analysieren und zu optimieren. Auf Basis dieses Ansatzes erfolgt

die Entwicklung von intelligenten Regelstrategien zum effizienten Betrieb von Teillastzuständen in komplexen gebäudetechnischen Anlagen mittels digitaler Zwillinge. Durch die Simulation der Regelstrategien konnten wertvolle Inputs für das Engineering der Regelungstechnik erarbeitet werden. Insbesondere bei komplexen haustechnischen Anlagen kann durch Simulation von Regelstrategien im Vorfeld ein effizienter Betrieb schon von Beginn an erreicht werden.

Die Anwendung von BIM im Kontext digitaler Gebäudezwillinge erfordert aktuelle BIM-Modelle und eine genaue Verortung von Sensoren und Aktuatoren im Raum. Vor allem für Bestandsgebäude sind solche Modelle nur bedingt verfügbar, auch die kontinuierliche Anpassung von BIM-Modellen im Bauprozess bzw. bei Änderungen im bzw. am Gebäude, also der Abgleich von as-built BIM mit as-planned BIM, stellt eine Herausforderung dar. In diesem Kontext wurde die Anwendung von 3D-Punktwolken zur automatischen Generierung von BIM-Modellen vorgeschlagen (siehe Qu und Sun, 2015).

Stochastische Energiemodelle von Gebäuden sind oft unzureichend und schwer interpretierbar. Im Rahmen des Projekts „Digital Twin of the Build environment“ (vgl. TwinsForBuiltEnvironment 2024) erfolgt daher die Kombination von Data-Analytics und Simulation, um bestehende Defizite stochastischer Energiemodelle von Gebäuden auszugleichen. Die im Projekt entwickelten Methoden sollen einen einfachen Abgleich von Modellinformation und realen Prozessen ermöglichen, um den simulierten Energieverbrauch von Gebäuden zu evaluieren. Außerdem werden durch das Projekt Methoden bereitgestellt, die es erlauben, räumlich-zeitliche Muster des Energieverbrauchs sowie Unsicherheiten in Energieverbrauchsmodellen für Nutzer\*innen fassbar zu machen und zu verstehen. Datenschutzrechtliche Aspekte digitaler Zwillinge stellen in der Bau- und Immobilienwirtschaft einen wichtigen Aspekt dar, da die Persönlichkeitsrechte und Privatsphäre gewahrt werden muss. Deswegen beschäftigt sich auch die datenschutzrechtliche Literatur vermehrt mit diesem Thema. Diese hat sich bisher insbesondere mit der „Occupancy Detection“ beschäftigt. Hochfrequent gesammelte Daten von im Gebäude verbauten Sensoren, wie Temperatursensoren, Feuchtigkeitssensoren, Lichtsensoren, können je nach Gebäudetyp und Nutzung potenziell einzelnen identifizierbaren Personen zugeordnet werden (vgl. Cejka et al. 2020). Ausführlich beschäftigt sich die Literatur auch mit datenschutzrechtlichen Fragen im Zusammenhang mit Smart Metern (z. B. Cejka 2017, Cejka et al. 2020). Dabei wurde festgestellt, dass über den Stromverbrauch je nach Auslesehäufigkeit nicht nur auf Anwesenheitszeiten, sondern auch auf verwendete Geräte (z. B. Abeykoon et al. 2016, Streubel et al. 2012), das gesehene Fernsehprogramm (z. B. Greveler et al. 2012) und gesundheitliche Beschwerden (z. B. Molina et al. 2010) geschlossen werden kann.

Neben aktiver Forschung im Rahmen von nationalen und internationalen F&E Projekten wurden potentielle Anwendungsfälle des digitalen Zwillinges und BIM in Bausektor in mehreren nationalen und internationalen Studien erarbeitet und untersucht. Der „Technologiereport Digitalisierung der Bau und Immobilienbranche“ des Innovationslabors Digital Findet Stadt (Digital Findet Stadt 2024) zielt darauf ab, einen Überblick über die aktuellen digitalen Technologien in der Bau- und Immobilienbranche zu geben und dient dazu, das Potential der Technologien zu bewerten und strategische Entscheidungen zur Integration der wichtigsten digitalen Technologien zu treffen. Technologien werden in unterschiedliche Gruppen wie „Digitale Information und Analyse“, „Prozessorientierte Tools“ und „Datenerhebung“ unterteilt, wobei die meisten Anwendungsfälle die Nutzung der BIM-Methodik voraussetzen, was das Potential dieser Technologie unterstreicht.

Die Studie BIM4Infra hat die Potentiale von BIM in der Infrastrukturplanung und -umsetzung erarbeitet. In der Studie BIM4Infra wurden insgesamt zwanzig Anwendungsfälle erarbeitet. Diese wurden den Hauptgruppen "Bestandserfassung", "Planung", "Genehmigung", "Vergabe", "Ausführung" und "Betrieb" zugeordnet und jeweils verschiedenen Projektphasen zugeordnet. Die Anwendungsfälle wurden auf Basis von realen Projekten und Erfahrungen aus der Praxis erarbeitet und dienen dazu, die Potentiale von BIM in der Infrastrukturplanung und -umsetzung aufzuzeigen. In allen Gruppen kann der Einsatz von BIM einen signifikanten Mehrwert generieren, wobei die Mehrzahl der identifizierten Anwendungsfälle in die Gruppen „Planung“ und „Ausführungsplanung und Ausführung“ fallen.

Andere Projekte betrachten spezifische Phasen des Lebenszyklus sehr detailliert. So wurde im Rahmen des Projekts „As-built-Modell & Dokumentation“ (Digital Findet Stadt 2024a) erarbeitet, welche Anwendungsmöglichkeiten BIM im Gebäudebetrieb bietet. Insgesamt wurden sechs unterschiedliche Anwendungsfälle erarbeitet. Die Ergebnisse unterstreichen, dass die Anwendung von BIM je nach Projektphase und Anwendungsfall sehr unterschiedlich ist und in unterschiedlichem Aufwand und Nutzen resultiert. So ist für die Anwendung von BIM im Facility Management nicht notwendigerweise ein spiegelgleicher Detaillierungsgrad des Modells mit der Realität notwendig. Alleine die Verknüpfung von Information mit dem geometrischen Modell bietet Mehrwert im Betrieb und kann zu Zeitersparnis, verbesserter Bauwerksdokumentation und höherer Kundenzufriedenheit führen. Es wurde daher der Begriff des "Life-Cycle-Modells" entwickelt, welcher ein Betriebs- oder Bestandsmodell beschreibt, welches Informationen aus der Entstehungsphase in den Bestand überführt und bis zum Lebensende zugänglich hält, das aber nicht den gleichen Detaillierungsgrad wie das tatsächlich gebaute Modell aufweisen muss.

Die Unterschiede im notwendigen Detaillierungsgrad je nach Anwendungsfall und Phase stellt eine Herausforderung für die bereichsübergreifende Anwendung von BIM-Modellen dar, da ein genügend hoher Detaillierungsgrad auch im Übergang von Projektphasen sichergestellt werden muss (bzw. falls nicht möglich hergestellt werden muss). Vor allem die Erfassung von Veränderungen und Abweichungen während der Ausführung stellen eine Herausforderung dar. Mitunter auch, weil die dafür verantwortlichen Akteure keinen unmittelbaren Mehrwert von einem genauen digitalen Abbild haben und eine Nachführung mit Aufwänden verbunden ist. Der Einsatz von digitalen Zwillingen im Bauwesen ist von unterschiedlichen Akteuren getrieben und reflektiert deren Interessen. Auf Grund der Streubreite unterschiedlicher Akteure und Interessen ist ein einheitlicher digitaler Zwilling für die Bau- und Immobilienwirtschaft sehr unwahrscheinlich. Wahrscheinlicher sind harmonisierte Methoden und Modelle, welche je nach Anwendungsfall unterschiedliche (mitunter verknüpfte) Aspekte des Bauwesens bedienen, wobei die dafür notwendigen Prozesse, Daten und Schnittstellen von den Anwendungsfällen abhängen. Im nachfolgenden Abschnitt werden aktuelle nationale Forschungsprojekte als Beispiele für momentane Entwicklungsaktivitäten mit Bezug zu digitalen Zwillingen in unterschiedlichen Anwendungsbereichen des Bau- und Immobilienwesens exemplarisch dargestellt.

### 3.1.1. Beispiele nationaler Forschungsprojekte im Bereich digitaler Gebäudezwillinge

Neben den im vorherigen Abschnitt exemplarisch angeführten Projekten beschäftigten sich eine Vielzahl von national geförderten Projekten mit Themen rund um den digitalen Gebäudezwilling. Insgesamt wurden 18 nationale Projekte identifiziert, deren Ergebnisse bei der Umsetzung zukünftiger Forschungs- und Demonstrationsprojekte, insbesondere Leuchtturmprojekte, berücksichtigt werden sollten bzw. aufgegriffen werden können. Die Projekte adressieren alle Lebenszyklusphasen eines Gebäudes. Die Projekte werden nachfolgend kurz angeführt und sind den unterschiedlichen Lebenszyklusphasen zugeordnet.

#### Phasenübergreifend

<b>GreenBIM2</b> - Green Information Modelling and Operation: Transformation der Grünen Branche durch Digitalisierung	
Förderschiene	Technologien und Innovationen für die Klimaneutrale Stadt (FFG) – Ausschreibung 2022
Konsortialführung	Büro für nachhaltige Kompetenz B-NK GmbH
Website	<a href="https://www.b-nk.at/projekte/gruenes-planen-wohnen-leben/green-bim-2/">https://www.b-nk.at/projekte/gruenes-planen-wohnen-leben/green-bim-2/</a>
Das Projekt führt die Agenden des Projekts "GreenBIM" fort, welche darauf abzielten, BIM im Kontext der Gebäudebegrünung zum Einsatz zu bringen, wobei GreenBIM 2 das Anwendungsfeld von BIM auf Landschaftsplanung erweitert. Dies erfolgt anhand realer Planungsprojekte entlang der gesamten Prozesskette und Leistungsphasen und durch die Erweiterung der "GreenBIM-IFC-Datenstruktur", um Ausschreibung, Grünpflege und Facility Management berücksichtigen zu können.	

<b>TWINLight</b> - BIM-basierte Umsetzung von Tages- und Kunstlichtsteuerungen	
Förderschiene	Stadt der Zukunft (FFG) – 9. Ausschreibung
Konsortialführung	Universität Innsbruck
Website	<a href="https://www.uibk.ac.at/bauphysik/forschung/projects/twinlight/index.html.de">https://www.uibk.ac.at/bauphysik/forschung/projects/twinlight/index.html.de</a>
Im Projekt erfolgt die Entwicklung eines BIM-basierten Anwendertools für Beleuchtungssteuerungen, also eines Frameworks, welches die modellbasierte Steuerung der Lichttechnik im Gebäude umfasst. Damit sollen Stakeholder wie Lichtplaner, Facility Manager und Hersteller bei Planung, Validierung, Konfiguration, Optimierung und Maintenance lichttechnischer Anlagen unterstützt und koordiniert werden können.	

<b>BIM2BEM-Flow</b> - Kontinuierliche BIM-basierte Energieeffizienzplanung	
Förderschiene	Stadt der Zukunft (FFG) – 8. Ausschreibung
Konsortialführung	Universität Innsbruck
Website	<a href="https://projekte.ffg.at/projekt/4396767">https://projekte.ffg.at/projekt/4396767</a>
Ziel ist die Ermöglichung von kontinuierlicher Energieeffizienzplanung, also die Anwendung von Simulationen und bauphysikalischen Analysen zur Optimierung der Energiebilanz von der frühen Entwurfsphase bis zum Bauabschluss und darüber hinaus. Dazu erfolgt im Projekt die Entwicklung eines Frameworks zum Design entsprechender Workflows.	

<b>openBAM</b> - Open Building Automation Modelling - Offene Modellierung der Gebäudeautomation über den gesamten Gebäudelebenszyklus	
Förderschiene	Stadt der Zukunft (FFG) – 8. Ausschreibung
Konsortialführung	Technische Universität Wien
Website	<a href="https://projekte.ffg.at/projekt/4123851">https://projekte.ffg.at/projekt/4123851</a>
Das Projekt entwickelt Methoden, um Steuerungs- und Regelungslogik von Gebäuden plattformunabhängig zu modellieren und in ein offenes Datenmodell zu integrieren. Dadurch können sie bereits in der Planungsphase und über den gesamten Gebäudelebenszyklus mit den Komponenten und Parametern der Gebäudemodelle verbunden werden. Ziel ist, eine optimale Planung der Gebäudeautomation unter Berücksichtigung der Systemrückwirkung zu erreichen und den offenen Austausch zu fördern.	

## Planungsphase

<b>Circular Twin</b> - Ein digitales Ökosystem zur Generierung und Bewertung kreislauffähiger Digitaler Zwillinge	
Förderschiene	Stadt der Zukunft (FFG) – 9. Ausschreibung
Konsortialführung	Technische Universität Wien
Website	<a href="https://www.tuwien.at/cee/hib/integral/forschung/forschungsprojekte/circular-twin-1">https://www.tuwien.at/cee/hib/integral/forschung/forschungsprojekte/circular-twin-1</a>
Im Rahmen des Projekts erfolgt die Entwicklung eines digitalen Decision Support Systems basierend auf kreislauffähigen Digitalen Zwillingen, Generative Design Algorithmen und Virtual Reality (VR). Das System soll bei Design-Entscheidungen zur Ermöglichung der Kreislauffähigkeit von Gebäudestrukturen unterstützen und so die Einbindung von End of Life Konzepten bereits in frühen Planungsphasen ermöglichen. Dazu nutzt das Projekt bestehende BIM-Objektbibliotheken und die dazugehörigen materiellen Gebäudepässe, wobei diese im Rahmen des Projekts durch Kriterien der Kreislaufwirtschaft angereicht werden.	

<b>Circular Standards</b> - Circular Standards: Erstellung eines kreislauffähigen Standard-Detail-Katalogs	
Förderschiene	Technologien und Innovationen für die Klimaneutrale Stadt (FFG) – Ausschreibung 2022
Konsortialführung	Technische Universität Graz
Website	<a href="https://klimaneutralestadt.at/de/projekte/tiks/circular-standards-erstellung-eines-kreislauffaehigen-standard-detail-katalogs.php">https://klimaneutralestadt.at/de/projekte/tiks/circular-standards-erstellung-eines-kreislauffaehigen-standard-detail-katalogs.php</a>
<p>Im Rahmen des Projekts erfolgt, unter Einbezug von Expertinnen aus der Bauindustrie, die Entwicklung von standardisierten und rückbaufähigen Konstruktionsdetails für den Hochbau, welche auf architektonischen und bautechnischen Entwurfsmethoden basieren. Dazu erfolgt die Recherche und Analyse von vorhandenen Standarddetail-Katalogen auf dem österreichischen Markt und deren Weiterentwicklung zur Steigerung deren Kreislauffähigkeit.</p>	

<b>Smart Dag</b> - Smarte und klimaneutrale Sanierung der Dag Hammarskjöld Siedlung	
Förderschiene	Technologien und Innovationen für die Klimaneutrale Stadt (FFG) – Ausschreibung 2022
Konsortialführung	Stadt Klagenfurt
Website	<a href="https://www.klagenfurt.at/stadt-service/klima-umwelt/laufende-projekte">https://www.klagenfurt.at/stadt-service/klima-umwelt/laufende-projekte</a>
<p>Im Rahmen des Sondierungsprojekts Smart Dag wird die klimaneutrale Sanierung einer Siedlung untersucht. In der ersten Phase der Sondierung werden alle für einen Architekturwettbewerb notwendigen Grundlagen erhoben, um dann in weiterer Folge gemeinsam mit den ansässigen Bewohnerinnen und Bewohnern ein Umsetzungskonzept zu entwerfen, wobei die Projektergebnisse auf andere Sanierungsprojekte in Klagenfurt übertragen werden sollen.</p>	

<b>AMAze 2.0</b>	
Förderschiene	Technologien und Innovationen für die Klimaneutrale Stadt (FFG) – Ausschreibung 2022
Konsortialführung	Fraunhofer Austria Research Gesellschaft mit beschränkter Haftung
Website	<a href="https://projekte.ffg.at/projekt/4581350">https://projekte.ffg.at/projekt/4581350</a>
<p>Ähnlich wie im Projekt GreenBIM 2 beschäftigt sich das Projekt mit der optimalen Nutzung von Außen-/Grünraum. Dazu erfolgt die Erhebung einer Datenbasis auf der bereits vorhandenen Infrastruktur. Zudem werden Soll-Ist-Abgleiche von BIM/GIS mittels Überflug- und Satellitendaten durchgeführt. Außerdem erfolgt die Entwicklung von Methoden zur kontinuierlichen, digitalen Erfassung des Außenraums, um eine Potentialerhebung ganzer Stadtteile und einzelner Straßenzüge zu ermöglichen.</p>	

<b>SmartQ+ Bruck/Leitha</b> - Potenziale der Quartiersentwicklungsplanung auf dem Weg zum Plus-Energie-Quartier	
Förderschiene	Stadt der Zukunft (FFG) – 9. Ausschreibung
Konsortialführung	Technische Universität Wien
Website	<a href="https://simlab.tuwien.ac.at/smartq-bruck-leitha/">https://simlab.tuwien.ac.at/smartq-bruck-leitha/</a>
<p>Im Projekt wird ein digitales, interaktives 3D-Modell erstellt, welches als Kommunikations- und Entscheidungsgrundlage zur Setzung von Planungs- und Policymaßnahmen für die Plus-Energie-Quartier-Siedlungsentwicklung dienen soll. Zur Umsetzung dieses Ansatzes entstehen im Rahmen des Projekts Schnittstellendefinitionen und offene Datenmodelle zur Abbildung und Simulation von gesamten Siedlungssystemen.</p>	

### Ausführungsphase

<b>3D*3B</b> - 3D-Betondruck und Bewehrung für emissionsarme biegebeanspruchte Tragstrukturen des Hochbaus	
Förderschiene	Stadt der Zukunft (FFG) – 8. Ausschreibung
Konsortialführung	Technische Universität Wien
Website	<a href="https://projekte.ffg.at/projekt/4121953">https://projekte.ffg.at/projekt/4121953</a>
<p>Im Projekt werden durch die Entwicklung von Versuchsanordnungen und Testserien Grundlagen für die numerische Simulation von 3D-Druck-Betonbauteilen geschaffen, welche zukünftig in der Planungsphase sowie für die zukünftige Produktionsüberwachung genutzt werden können. Gleichzeitig erfolgt die Entwicklung von masserelevanten Anwendungen für den Hochbau unter dem Einsatz von Topologieoptimierung. Außerdem untersucht das Projekt die Potentiale von 3D-Druck-Betonbauteilen zur Reduktion von Betonkubatur und CO<sub>2</sub>-Äquivalenten im Hochbau sowie die Entwicklung von Bauprozessen und Baulogistik für BIM-kompatible Prozesse.</p>	

<b>CO2-demobau</b> - Sondierung zur Durchführbarkeit CO <sub>2</sub> -neutraler Demonstrationsbaustellen	
Förderschiene	Stadt der Zukunft (FFG) – 9. Ausschreibung
Konsortialführung	Technische Universität Wien
Website	<a href="https://projekte.ffg.at/projekt/4425003">https://projekte.ffg.at/projekt/4425003</a>
<p>Das Projekt entwickelt Methoden und Konzepte zur CO<sub>2</sub>-neutralen Abwicklung von Baustellen sowie Maßnahmen zur Emissionsreduzierung im Bau. Dezidiertes Fokus des Projekts ist die Vorbereitung der Begleitung realer Bauvorhaben, um nachfolgend die ersten CO<sub>2</sub>-neutralen Baustellen in Österreich zu schaffen.</p>	

## Betrieb bzw. Facility Management

<b>Autology</b> - The automated ontology generator	
Förderschiene	Stadt der Zukunft (FFG)
Konsortialführung	DiLT Analytics GmbH
Website	<a href="https://nachhaltigwirtschaften.at/en/sdz/projects/tiks/autology-the-automated-ontology-generator.php">https://nachhaltigwirtschaften.at/en/sdz/projects/tiks/autology-the-automated-ontology-generator.php</a>
Im Rahmen des Projekts erfolgt die Entwicklung von Methoden zur KI-gestützten Extraktion und Generierung von Metadaten aus dem Gebäudeautomatisierungssystem, welche nachfolgend zur automatisierten Erstellung von Gebäudeontologien verwendet werden. Hierzu sollen sogenannte Ontologie-Bootstrapping-Methoden zum Einsatz kommen.	

<b>scaleFLEX</b> - Skalierbare Methode zur Optimierung der Energieflexibilität von Quartieren	
Förderschiene	Stadt der Zukunft (FFG) – 9. Ausschreibung
Konsortialführung	Forschung Burgenland GmbH
Website	<a href="https://nachhaltigwirtschaften.at/de/sdz/projekte/scaleflex-skalierbare-methode-zur-optimierung-der-energieflexibilitaet-von-quartieren.php">https://nachhaltigwirtschaften.at/de/sdz/projekte/scaleflex-skalierbare-methode-zur-optimierung-der-energieflexibilitaet-von-quartieren.php</a>
Das Projekt entwickelt Methoden, um den netzdienlichen Betrieb auf Gebäude- und Quartiersebene zu erreichen. Dazu erfolgt die Entwicklung von verteilten Regelungs- und Steuereinheiten mit dezentraler Intelligenz und Entscheidungskompetenzen und übergeordneter Koordination der verteilten Assets.	

<b>OctoAI</b> - Die nächste Generation hochleistungsfähiger Edge AI für intelligente Gebäude	
Förderschiene	Stadt der Zukunft (FFG) – 9. Ausschreibung
Konsortialführung	Technische Universität Graz
Website	<a href="https://projekte.ffg.at/projekt/4424980">https://projekte.ffg.at/projekt/4424980</a>
Das Projekt entwickelt Edge-Ready AI-Modelle für die Steuerung von intelligenten Gebäuden. Durch die Modelle soll die Auswertung von großen Datenmengen bereits im Gebäude (on the edge) ermöglicht werden, sodass müssen Sensordaten nicht mehr in die Cloud übermittelt werden müssen. Im Projekt erfolgt die Entwicklung von Modellen mit geeigneten funktionalen Eigenschaften als auch die Untersuchung von Konzepten wie Transfer Learning.	

<b>mAIntenance</b> - Untersuchung von KI-gestütztem Instandhaltungs- und Energiemanagement	
Förderschiene	Stadt der Zukunft (FFG) – 8. Ausschreibung
Konsortialführung	AIT Austrian Institute of Technology GmbH
Website	<a href="https://projekte.ffg.at/projekt/4121932">https://projekte.ffg.at/projekt/4121932</a>
<p>"mAIntenance" nutzt prädiktive und selbstlernende Algorithmen, um die Energie- und Instandhaltungskosten von HLKK-Systemen zu reduzieren und die Betriebsweise zu verbessern. Hierbei werden Zeitreihenprognosen mit neuronalen Netzen auf der Ebene des Gesamtsystems und Modellbildung und maschinelles Lernen auf der Ebene der TGA-Komponenten genutzt. Ein Tool zur Fehlererkennung und -diagnose wird entwickelt und in eine FM-Betriebswarte integriert, um den Objektbetreuer oder Betriebstechniker durch datenbasierte Handlungsempfehlungen zu unterstützen.</p>	

<b>BEYOND</b> - Virtual Reality enabled energy services for smart energy systems	
Förderschiene	Stadt der Zukunft (FFG) – 8. Ausschreibung
Konsortialführung	Technische Universität Graz
Website	<a href="https://projekte.ffg.at/projekt/4123870">https://projekte.ffg.at/projekt/4123870</a>
<p>BEYOND entwickelt ein neuartiges „Energy Service“, welches Virtual Reality (zur Visualisierung und Echtzeitinteraktion mit dem realen Bauwerksobjekt), Machine Learning und physikalische Simulation (zur Darstellung der realen Auswirkungen von Handlungen und Entscheidungen) sowie IoT-Plattformen (für die bidirektionale Echtzeitkommunikation mit dem Gebäude) kombiniert, um eine bidirektionale Echtzeitkommunikation zwischen dem Gebäude und den Nutzer*innen zu schaffen, um zukünftig interaktive Services wie bspw. "Predictive Maintenance und Fehlerdiagnose" umzusetzen.</p>	

## Rückbau

<b>DiCYCLE</b> - Reconsidering digital deconstruction, reuse and recycle processes using BIM and Blockchain	
Förderschiene	Stadt der Zukunft (FFG) – 8. Ausschreibung
Konsortialführung	Technische Universität Wien
Website	<a href="https://projekte.ffg.at/projekt/4121981/">https://projekte.ffg.at/projekt/4121981/</a>
<p>DiCYCLE optimiert End-of-Life (E-o-L) Prozesse im Bauwesen durch den Einsatz von digitalen Technologien wie BIM, Blockchain und Smart Contracts. Das Ziel ist eine nachhaltige Wiederverwendung und Wiederverwertung von Baumaterialien und Bauelementen entlang des Lebenszyklus von Gebäuden. Das Projekt konzentriert sich auf BIM-gestützte Gebäudemodelle und Prozessflüsse, um frühzeitige E-o-L-Assessments zu ermöglichen. Ein Framework als Proof-of-Concept wird entwickelt, um die Umsetzung von BIM, Blockchain und Smart Contracts in E-o-L zu ermöglichen.</p>	

# 4 Projektinhalt

Wie in vorherigen Kapitel beschrieben, wurde im ersten Schritt der Stand der Technik in Bezug auf digitale Zwillinge untersucht. Im Rahmen von Desk Research erfolgte neben der Analyse aktueller Publikationen eine Recherche bezüglich relevanter laufender Projekte im Kontext digitaler Gebäudezwillinge sowie eine Recherche und Sichtung bestehender Use-Case-Sammlungen im Bereich Digitalisierung der Bau- und Immobilienwirtschaft. Es wurden auch öffentliche Online-Projektbanken (z.B. Case Management Plattform von buildingSMART) genutzt. Auf diese Art wurden Use-Cases gesammelt und strukturiert. Im Rahmen eines Stakeholder-Prozesses, der ein integraler Bestandteil dieses Sondierungsprojekts war, wurden dabei Fachexpert\*innen einbezogen.

Anhand der erhobenen Use-Cases wurden in einem nächsten Schritt zukünftige Use-Case-Ketten (UCK) identifiziert und ausgearbeitet. Diese Ketten sind als Systematisierung und konsekutive Reihenfolge von einzelnen Use-Cases zu sehen und stellen die Durchgängigkeit eines digitalen Zwillings über die verschiedenen Lebenszyklusphasen eines Gebäudes sicher. Die ausgearbeiteten Use-Case-Ketten sind in Tabelle 1 zusammenfassend dargestellt, eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Use-Case-Ketten findet sich in Kapitel 5.

Tabelle 1: Ausgearbeitete Use-Case-Ketten für digitale Gebäudezwillinge

<b>Bezeichnung</b>	<b>Abkürzung</b>	<b>Ziel</b>
Intelligente Bauteile	smart.tag	Nutzung des digitalen Gebäudezwillings zur Einführung einer lebenszyklusorientierten Kennzeichnung von Bauteilen mit der Zielsetzung einer Kreislaufwirtschaft
Twin-gestützte Fabrikation mittels openBIM	open.fab	Nutzung des digitalen Zwillings als Basis für Vorfabrikation von Bauteilen in der Bau- und Immobilienwirtschaft; Schaffung einer Kreislaufwirtschaft auf Basis dieser Bauteile auf Basis des zugrundeliegenden Gebäudezwillings
Bau- und Betriebsoptimierung mit bauablaufintegriertem asBuilt-Modell	asBuilt2Work	Erstellung digitaler Zwillinge als integrierter Bestandteil der Ausführungsphase und Nutzung des digitalen Zwillings zur Optimierung des Bauablaufs und in weiterer Folge für den Gebäudebetrieb
Energieeffizienz in der Heizungs-, Lüftungs-, Klimatechnik	enEff	Durchgängige Nutzung eines digitalen Gebäudezwillings von der Planung bis zum Betrieb zur Erreichung einer hohen Energieeffizienz
Twin-basierter Gebäudebetrieb	BTWIN	Nutzung digitaler Gebäudezwillinge auf Basis von BIM-Modellen und Betriebsdaten (z.B. IoT-Daten) im Gebäudebetrieb

Momentan sind vor allem zwei Aspekte wesentliche Hindernisse für eine breite Anwendung digitaler Gebäudemodelle und -zwillinge. Zunächst ist dies die fehlende Durchgängigkeit bei der Nutzung

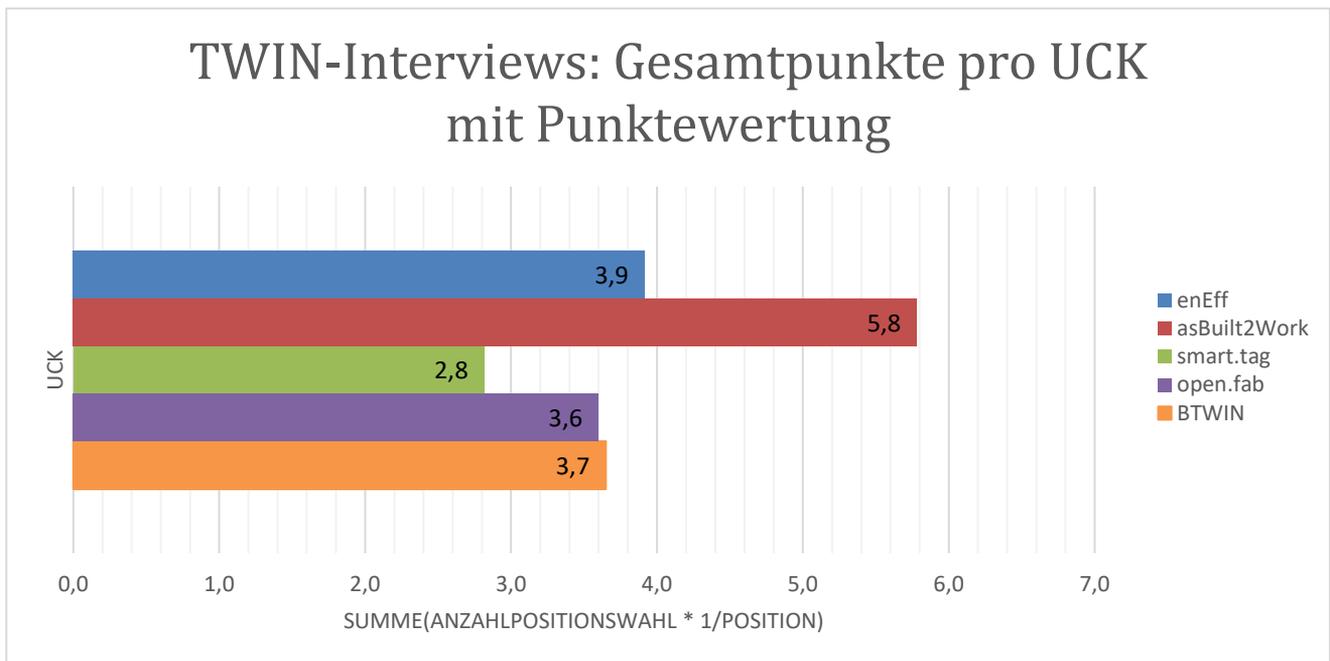
digitaler Gebäudemodelle und Daten über mehrere Projektphasen bzw. Lebenszyklusphasen hinweg. Sehr oft werden digitale Gebäudemodelle im Bauprojekt mehrfach erstellt und es erfolgt keine synergetische Nutzung digitaler Modelle im Projekt. Die Ursachen dafür sind vielschichtig und sind neben technischer Art auch rechtlicher, organisatorischer und sozialer Natur. Dieser Mangel an Durchgängigkeit resultiert in einem großen Aufwand und hohen Kosten für die Erstellung und Anwendung der Modelle. Dies wiederum führt dazu, dass Projektbeteiligte (Projektakteure) zu wenig Nutzen von digitalen Gebäudezwillingen sehen bzw. der aus ihrer Sicht erzielbare Nutzen den notwendigen Aufwand nicht rechtfertigt. Daher wurde im Rahmen dieses Projekts der Use-Case-Ketten-Ansatz mit der Zielsetzung entwickelt, die momentanen Herausforderungen und Hemmnisse zu überwinden und die technologischen als auch wirtschaftlichen Vorteile für die Projektbeteiligten durch den Einsatz digitaler Gebäudezwillinge in der Praxis demonstrierbar zu machen. Der Ansatz zielt darauf ab, Bündel priorisierter Use-Cases zu bilden, welche aufeinander aufbauen und mehrere Stakeholder in unterschiedlichen Lebenszyklusphasen betreffen. Auf diese Weise wird einerseits die Erstellung und durchgängige Nutzung digitaler Modelle erleichtert und gefördert, was zur Genese eines digitalen Gebäudezwillings führt. Zum anderen entsteht durch die Kette ein Nutzen für unterschiedliche Projektbeteiligte (z.B. Planende und Ausführende) entlang der Projektphasen und Wertschöpfungskette. Durch Weitergabe und aufbauende Nutzung des Zwillings ist ein optimiertes Verhältnis von Nutzen zu Aufwand zu erwarten, was wiederum eine Motivation für die Projektbeteiligten zur Nutzung digitaler Gebäudezwillinge darstellt.

Diese ausgearbeiteten Use-Case-Ketten wurden unterschiedlichen Stakeholdern aus der Bau- und Immobilienwirtschaft präsentiert. Im Rahmen von Interviews und einem Stakeholder-Workshop wurde ein umfassendes Feedback von einschlägigen Fachexpert\*innen aus unterschiedlichen Bereichen der Bau- und Immobilienwirtschaft eingeholt. Die Interviews wurden systematisch durchgeführt und aufbereitet, sodass eine Vergleichbarkeit dieser möglich war. Das erhaltene Feedback floss in die detaillierte Analyse der Use-Case-Ketten ein. Des Weiteren wurden die interviewten Stakeholder gebeten, die vorgestellten Use-Case-Ketten hinsichtlich in ihrer Relevanz und Wichtigkeit für die Bau- und Immobilienwirtschaft zu reihen. Das Ergebnis dieser Reihung ist in Abbildung 1 dargestellt.

Im dritten Schritt wurden die Use-Case-Ketten hinsichtlich ihrer Anforderungen analysiert und strukturiert. Zielgruppen, Stärken/Schwächen/Chancen/Risiken, Herausforderungen und rechtliche Hürden, Abhängigkeiten, notwendige Kompetenzen als auch Umsetzungsideen in Richtung eines Demonstrationsprojekts wurden in internen Workshops erarbeitet. Die Ergebnisse dieser Analysen sind in den Abschnitten **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden., Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden., Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. und Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** beschrieben.

Auf Basis dieser Ergebnisse wurden für jede Use-Case-Kette relevante Anforderungen hinsichtlich einer zukünftigen Einführung und praktischen Anwendung erarbeitet. Die Ermittlung des FE&D-Bedarfs erfolgte für die Use-Case-Ketten mittels einer Gap-Analyse. Es wurden offene Forschungsfragen bzw. zu lösende Themenstellungen, welche in zukünftigen Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsvorhaben zu adressieren sind, ermittelt. Die für jede Use-Case-Kette ausgearbeiteten FE&D-Maßnahmen sind in Kapitel 6.1 dargestellt.

Abbildung 1: Stakeholder-Bewertung der Use-Case-Ketten



Abschließend wurde für die gezielte Weiternutzung der Projektergebnisse eine Roadmap erstellt. Diese Roadmap (Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) beinhaltet fünf Forschungs- und Demonstrationsschwerpunkte, die in Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** detailliert beschrieben werden:

- FDS 1: Digitale Werkzeuge und Prozesse zur Realisierung von Datendurchgängigkeit
- FDS 2: Bauablaufintegrierte Erstellung von as-Built-Modellen
- FDS 3: Weiterentwicklung von openBIM-Datenformaten
- FDS 4: Lebenszyklusorientiertes Management von Bauprodukten und Bauteilen
- FDS 5: TWIN-basiertes Facility Management

Es wird empfohlen, diese Schwerpunkte anhand der in Abbildung 11 ersichtlichen Zeitachse über aufeinander abgestimmte Forschungs- und Demonstrationsprojekte zu bearbeiten. Handlungsempfehlungen für eine Gestaltung solcher Projekte sind in Abschnitt 7.1.3 gegeben und Abschnitt 7.2 beschreibt das Potential für zukünftige Demonstrationsprojekte.

Die im Rahmen dieses Sondierungsprojekts angewandten Methoden erwiesen sich als zielführend und effektiv zur Erreichung der Projektziele und zur Bearbeitung der Aufgabenstellung. Die Bündelung von Use-Cases erfolgte mittels der Use-Case-Ketten. Auf dieser Basis konnte ein breites Stakeholder-Spektrum angesprochen werden, einschließlich solcher, die ihre BIM-Kompetenzen noch aufbauen. Die Auswertung der Interviews erforderte aufgrund der Fragestellungskomplexität einen erhöhten Aufwand. Eine detaillierte Planung und sorgfältige Durchführung der Interviews waren notwendig, um sie vergleichbar und in eine gesammelte Analyse integrierbar zu machen.

# 5 Ergebnisse

In diesem Kapitel erfolgt eine detaillierte Vorstellung der fünf ausgearbeiteten und in Tabelle 1 dargestellten Use-Case-Ketten (UCK). Für jede Kette ist zunächst eine Vision formuliert, welche übergeordnete Ambition mit der Use-Case-Kette verfolgt wird, gefolgt von konkreten Zielsetzungen, die es mit der Kette zu erreichen gilt. Darauf aufbauend sind in weiterer Folge die wesentlichen Anforderungen, welche an die Use-Case-Kette gestellt werden, angeführt und es werden Abhängigkeiten zu anderen Use-Case-Ketten aufgezeigt. Die Charakterisierung der Use-Case-Ketten hinsichtlich Stärken/Schwächen/Chancen/Risiken erfolgt in der typischen Quadranten-Darstellung einer SWOT-Analyse. In weiterer Folge wird aufgezeigt, welche weiteren Schritte für eine Umsetzung der Use-Case-Kette im Rahmen eines Folgeprojekts (Leuchtturmprojekt) zu setzen wären. Zudem wird erläutert, für welche Zielgruppen in der Bau- und Immobilienwirtschaft die jeweils betrachtete Use-Case-Kette von Relevanz ist und es wird aufgezeigt, welche Kompetenzen seitens der Projektbeteiligten in einem Bauprojekt notwendig sind, um die Use-Case-Kette erfolgreich in einem Projekt implementieren zu können. Für letzteres wird der erforderliche Grad an digitalem Know-how im Unternehmen (insbesondere BIM-Kompetenz) in den verschiedenen Projektphasen für unterschiedliche Projektbeteiligte aufgezeigt. Abschließend werden erwartete Herausforderungen und potentielle rechtliche Hürden bei einer Umsetzung der Use-Case-Kette angeführt. Die Ausführungen schließen mit einer Erläuterung, wie sich die jeweils betrachtete Use-Case-Kette in die Programmlinie Stadt der Zukunft hinsichtlich der Programmziele einfügt.

## 5.1. UCK Intelligente Bauteile (smart.tag)

### 5.1.1. Vision der UCK smart.tag

Eine effiziente und möglichst umfassende Kreislaufwirtschaft in der Bau- und Immobilienwirtschaft erfordert einen Paradigmenwechsel über sämtliche Phasen im Lebenszyklus eines Gebäudes und darüber hinaus. Die UCK *smart.tag* beschreibt einen Prozess der Identifizierung und Nachverfolgbarkeit von elementbezogenen Informationen aus unterschiedlichen Datenquellen über die unterschiedlichen Phasen eines Gebäudes. Durch Vernetzung mit bestehenden Planungsinformationen werden Brüche in der digitalen Gebäudemodellierung und asBuilt-Modellerstellung überwunden. In Kombination mit alternativen Ansätzen zur asBuilt-Modellerstellung bildet sich die Baustelle „selbstständig“ in der virtuellen Umgebung des digitalen Zwillings ab. Die Modellnachführung bzw. Modellerstellung erzeugt für das Facility Management Elemente mit verifizierten Standortdaten, welche eine automatische Zusammenführung von Plandaten mit Modelldaten ermöglicht. Durch die Nachverfolgbarkeit der einzelnen Elemente über die Lebensdauer des Gebäudes hinweg wird eine Kreislaufwirtschaft ermöglicht. In dieser werden demontierte bzw. in naher Zukunft demontierte Bauteile in einem projektübergreifenden Bauteilmanagement mit angeschlossener Logistik erfasst und können in neuen Bauvorhaben eingesetzt werden.

### 5.1.2. Ziele der UCK smart.tag

**Identifikation von Bauteilen:** Bauteile sollen eindeutig und nicht fälschbar identifizierbar sein, um einen Nachweis erbringen zu können, dass diese tatsächlich verbaut wurden.

**Lokalisierung bzw. Verortung von Bauteilen:** Es soll möglich sein, Bauteile zu lokalisieren, um Nachweise zu erbringen, wo diese verbaut wurden.

**Konnex der physischen Bauteile zum digitalen Zwilling:** Durch eine physische Identifikationsmöglichkeit ist es möglich, Bauteile eng mit dem Modell zu verbinden, da auch dort die gleiche ID semantisch hinterlegt werden kann. Das ermöglicht eine lückenlose Katalogisierung und Überprüfung, ob das Modell und die physische Realität übereinstimmen.

**Wiederverwendbarkeit über den Lebenszyklus eines Gebäudes hinweg:** Da die Bauteile und deren Verortung bekannt sind, wird es möglich, diese über den Lebenszyklus eines einzelnen Gebäudes bzw. Einsatzzweckes hinaus wieder zu verwenden.

**Selbstbeschreibende Bauteile (digitaler Produktpass):** Ultimativ ist das Ziel des digitalen Produktpasses, bei dem jedes Bauteil sich nicht nur identifizieren, sondern auch selbst beschreiben kann: Welche Materialien wurden für die Herstellung verwendet? Wie ist es recycelbar? Welches Nutzungsprofil hat das Bauteil erlebt? Wo ist es lokalisiert? Und welche „Services“ bzw. Schnittstellen bietet das Bauteil an?

### 5.1.3. Anforderungen an die UCK smart.tag

Die UCK smart.tag stellt die Grundlage für viele weitere Anwendungsfälle dar und kann daher als „Enabler-Technologie“ gesehen werden. Es stellen sich dabei zahlreiche technische sowie prozessbezogene Anforderungen.

#### Prozessbezogene Anforderungen

Um smarte Tagging-Systeme nutzen zu können, ist es notwendig, dass alle Beteiligten sich auf gemeinsame Standards einigen, die aufgrund der langen Lebenszeit von Gebäuden und Gebäudeteilen noch über Jahrzehnte hinweg lesbar bzw. interpretierbar sind. Dies ist eine sehr limitierende Anforderung, da es kurzlebige Technologien oder Kommunikationsprotokolle ausschließt und nur erlaubt Basistechnologien einzusetzen, deren Kompatibilität und Lesbarkeit auch über Jahrzehnte hinweg garantiert werden kann. Das prozessbezogene Problem hier ist, dass die Stakeholder, welche die Tags anbringen bzw. erzeugen, nicht dieselben sind, die diese Jahrzehnte später nutzen bzw. auslesen wollen. Hier muss also eine offene Lösung gefunden werden, die firmen-, gewerk- und branchenübergreifend funktioniert und kompatibel ist.

Auch in 20 Jahren soll es möglich sein, die Daten aus den Smart-Tags auszulesen und die entsprechenden Lesegeräte müssen für die beteiligten Stakeholder zur Verfügung stehen. Diese Anforderung hat sehr starken Einfluss auf die technischen Anforderungen. Morin et al. (2017) haben eine Analyse über die maximale Lebensdauer von IoT-Geräten in Funknetzwerken erstellt und dabei festgestellt, dass sie stark abhängig von Nutzung, Batterie und Umwelteinflüssen ist und von mehreren Monaten hin zu mehreren Jahrzehnten gehen kann (wenn sie zum Beispiel nur einmal täglich für eine kurze Nachricht genutzt werden).

Auch die Art der BIM-Software, Datenbanken und Systeme werden sich über diese enorme Laufzeit stark ändern, daher sollte der Tag selbstbeschreibend oder so einfach sein, dass eine zukunftssichere Kompatibilität mit allen existierenden (und noch nicht existierenden) Plattformen sichergestellt ist oder zumindest leicht darauf angepasst werden kann. Offene openBIM-Standards würden sich hier anbieten, da sie gut dokumentiert sind und so eine Lesbarkeit auch in vielen Jahren noch gewährleistet werden kann. Im wissenschaftlichen Bereich gibt es hier zum Beispiel die FAIR-Richtlinien (Wilkinson 2016), die Vorgaben darüber geben, wie Daten archiviert werden sollen, damit sie langfristig lesbar und verwendbar bleiben: Auffindbarkeit, Verfügbarkeit, Interoperabilität und Wiederverwendbarkeit.

### **Technische Anforderungen**

Technisch sollte der Smart-Tag vom Herstellenden am Objekt aufgebracht bzw. eingearbeitet werden können, sodass er untrennbar mit dem Objekt verbunden ist. Weiters muss es möglich sein, den Tag mittels eines Lesegerätes auslesen zu können. Optional (und aus Ausfallsicherheitsgründen) wäre es auch gut, wenn der Tag von Menschen optisch ohne Hilfsmittel gelesen werden könnte (auch wenn es etwas mühsam sein sollte). Folgende technische Lösungen kommen dafür in Frage: Optische, funkbasierte oder kontaktbasierte Lösungen.

#### *Optische Lösungen*

Hierunter fallen z.B. QR-Codes, Barcodes oder symbolische Annotationen bzw. Aufschriften. Diese können entweder aufgebracht (z.B. aufgeklebt) oder mechanisch eingearbeitet werden, z.B. durch subtraktive Methoden wie fräsen, ätzen, lasern. Oder sie werden additiv direkt in das Objekt eingearbeitet, z.B. bereits im CAD-Modell, mittels dynamisch generierter Schablonen, sodass jedes Objekt dann bereits mit dem entsprechenden Tag produziert wird, beispielsweise mittels 3D-Druck. Eine Lösung für unzugängliche Bauteile wäre es, diese redundant an sichtbaren Stellen im Raum ebenfalls anzubringen (z.B. an der Wand, hinter der sich das Bauteil befindet, oder an der Eingangstür, ähnlich einer Raum-Inventarliste).

#### *Funktechnologie-Lösungen*

Der Einsatz von IoT-Geräten und Funktechnologien wie NFC, UWB, BLE, Wifi, 5G/6G, ZigBee, LoRa oder RFID würde es ermöglichen, auch nicht-sichtbare bzw. unzugängliche Tags zu scannen (z.B. durch Wände oder Abhängungen hindurch). Jedoch sind diese nicht menschenlesbar und benötigen spezielle Lesegeräte.

#### *Kontaktbasierte bzw. kabelgebundene Lösungen*

Kontaktbasierte bzw. kabelgebundene Tags, wie z.B. USB-Dongles, Magnetstreifen-Karten oder Smartcards mit Chip, benötigen physische Anschlüsse, über die sie gelesen werden können. Dazu muss der Tag bzw. zumindest der Anschluss dazu von außen physisch verfügbar sein und es muss eine Verbindung hergestellt werden. Diese Tags sind ebenfalls nicht von Menschen lesbar und benötigen Lesegeräte die Kontaktverbindungen mit dem Tag herstellen können.

#### *Gemischte Lösungen*

Kombinationen von mehreren Technologien sind möglich und würden die Redundanz, Ausfallsicherheit bzw. die Einsatzmöglichkeiten und Kompatibilität erhöhen, aber damit

einhergehend auch die Kosten. Daher ist ein potentieller Einsatz nur bei sehr spezifischen oder kritischen Bauteilen empfehlenswert. Beispiel hierfür wären ein QR-Code und ein NFC-Chip.

#### *Lokalisierbarkeit*

Zusätzlich zur Identifikation sollen die Tags auch lokalisierbar sein. Da die Chips selbst aber technologisch nur sehr einfach gehalten sein sollen, kann kein GPS-Empfänger integriert werden. Man ist somit auf andere Geräte für die Lokalisierung angewiesen. Diese Funktion könnte zum Beispiel vom Lesegerät (Scanner) übernommen werden. Das Lesegerät müsste eine genaue Position bestimmen können, um die Tags bzw. Bauteile dann dieser Position zuzuordnen.

#### *Anforderung an die Langlebigkeit*

Elektronische Systeme sowie auch physische Tags haben eine begrenzte Lebensdauer und müssen daher sehr robust ausgeführt sein. Als Negativbeispiele seien hier klassische Festplatten mit 5-10 Jahren oder Flashspeicher mit ca. 3 Jahren Lebensdauer genannt. Flashspeicher werden in aktueller Hardware sehr häufig verbaut, obwohl sie keine nachhaltige Speicherung garantieren können.

### **5.1.4. Abhängigkeiten der UCK**

Es besteht keine direkte Abhängigkeit zu anderen Use-Case-Ketten. Zur Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft basierend auf vorgefertigten Teilen ist eine Abwicklung, wie in der UCK open.fab beschrieben, hilfreich. Synergien bestehen daher zur UCK open.fab. Die automatisierte Modellnachführung via smart.tag ermöglicht ein zuverlässigeres asBuilt-Modell, welches wiederum für das Facility Management in der Betriebsphase hilfreich ist. Die UCK asBuilt2Work wird durch ein zuverlässiges Tagging unterstützt.

### 5.1.5. SWOT-Analyse der UCK smart.tag

Stärken [intern]	Schwächen [intern]
<ul style="list-style-type: none"><li>• Facility Management ist noch nicht so BIM fit wie nötig</li><li>• Ständiges virtuelles Mapping</li><li>• Zukunftsthema, Türöffner</li><li>• Digitale Identität, Product Passport</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Technologien und Workflow herausfordernd</li><li>• Langlebigkeit unklar</li><li>• Vollständigkeit von Plänen</li><li>• Datenhoheit, Datennutzung</li><li>• Verantwortlichkeiten unklar</li></ul>
Chancen [extern]	Risiken [extern]
<ul style="list-style-type: none"><li>• Kombinieren von AKS und GUI realisierbar machen</li><li>• Suchzeiten verringern sich enorm</li><li>• Business-Cases werden sich verändern. Jeder Projektbeteiligte sollte Vorzüge aus dieser komplexen UCK ableiten können.</li><li>• Bestehende Geschäftsmodelle mitberücksichtigen</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Datendurchgängigkeit für FM-Dienstleister eventuell nicht erforderlich</li><li>• Ausbildungsgrad des Personals</li><li>• Dokumentation nicht in der Sphäre der Planung</li><li>• Kompetenzen zum Handling von Technologien nicht vorhanden</li><li>• Unterschiedliche Pläne für Gewerke, auch in Betriebsführung</li><li>• Darstellung von Kosten/Nutzen für einzelne Stakeholder</li></ul>

### 5.1.6. Umsetzung Richtung Leuchtturmprojekt

In dieser Vorbereitungsphase muss zunächst eine Grundlagenermittlung und Konzeptentwicklung erfolgen, welche die Umsetzbarkeit der gewählten Verfahren zur Objektidentifizierung und automatischen Modellnachführung adressieren. Bei der Konzepterprobung im Rahmen eines Demonstrationsprojekts ist die Datenbankanbindung zu unterschiedlicher Autorensoftware zu berücksichtigen. Besonders die automatisierte Modellnachführung und die vorhergehende Datengewinnung ist umfangreich zu testen. Erst wenn das Konzept getestet und vollumfänglich funktionsfähig ist, kann das Projekt fortgeschrieben werden. Dabei werden entsprechende Erkenntnisse und Methoden noch vor dem Projektstart in einer AIA festgehalten.

Vor der Planungsphase müssen die zu untersuchenden bzw. zu testenden Bauteile festgelegt sein, um eine durchgehende Identifikation über alle Phasen hinweg sicherzustellen. Bei der Planung ist ein vollständiges BIM-Modell von größter Wichtigkeit. Die Überprüfung muss automatisiert erfolgen und die Vollständigkeit sicherstellen. Bei der Erprobung im Rahmen eines Demonstrationsprojekts bietet sich die Reduktion auf einzelne Gewerke oder Teile davon an. Bei der Wahl der zu testenden Bauteile bietet sich eine Kombination mit der Use-Case-Kette open.fab an. In diesem Fall werden die Bauteile und Elemente direkt nach der Fertigung inklusive der Tags in eine Datenbank eingepflegt, um in weiterer Folge in eine Kreislaufwirtschaft eingebracht werden zu können. Sowohl die Logistik als auch der Einbau der Bauteile werden durch das Tagging unterstützt. Anhand der gewählten Verfahren, z.B. einer Kombination aus QR-Tags, NFC-Tags und Photogrammetrie, erfolgt die

Identifizierung der eingebauten Bauteile sowie die Verortung in der realen Baustelle. Die Verortung und Nachführung im Planungsmodell erfolgt möglichst automatisiert, wodurch gleichzeitig ein korrektes asBuilt-Modell sichergestellt wird. Außerdem erfolgt anhand von Messungen ein Abgleich von Soll- und Istmaßen. Ab einer Toleranzschwelle werden Abweichungen behandelt, was eine korrekte Ausführung auf der Baustelle sicherstellt.

Das asBuilt-Modell bildet die Grundlage für den Gebäudebetrieb. In der Phase des Rückbaus erfolgt eine rechtzeitige Meldung bzw. ein Eintrag der Demontage in der Datenbank, damit dadurch die Möglichkeit der Weiternutzung in anderen Projekten angezeigt wird. Damit kann das noch genutzte Bauteil oder Element bereits in zukünftigen Projekten verplant werden, sofern eine Weiternutzung grundsätzlich möglich ist. Im Zuge des Rückbaus werden die getaggtten Bauteile und Elemente demontiert und anhand des Tags identifiziert. Es erfolgt eine Prüfung und im Bedarfsfall auch eine Aufbereitung, z.B. der Tausch der Blende und Filter bei einem Luftauslass. Nach einer Freigabe des Bauteils oder Elements erfolgt die Rückführung in den Warenkreislauf.

### **5.1.7. Zielgruppen und notwendige Kompetenzen**

#### **Zielgruppen**

Für die Ermöglichung einer Kreislaufwirtschaft ist die phasenübergreifende Nachverfolgbarkeit von Bauteilen unerlässlich. Die Ergebnisse sind für die gesamte Baubranche relevant. Die UCK smart.tag ist grundsätzlich auf jedes andere Gewerk anwendbar. Bei der Vernetzung mit bestehenden Planungsinformationen werden Brüche in der digitalen Gebäudemodellierung überwunden und dabei sämtliche Beteiligte eingebunden.

#### **Kompetenzen**

Für die Umsetzung von smart.tag sind in den unterschiedlichen Projektphasen IT- und BIM-Kompetenzen erforderlich, besonders in der Projektvorbereitungsphase. Die initiale Einrichtung weist eine große Komplexität auf, die weitere Nutzung hingegen nicht. Die Einbindung von phasenübergreifenden Tag-Informationen stellt an das BIM-Modell bzw. BIM-Management höchste strategische Anforderungen. Die phasenübergreifende Zusammenarbeit von mehreren Projektbeteiligten erfordert umfassende Kenntnisse der Herausforderungen der jeweiligen anderen Beteiligten sowie eine nahtlose Zusammenarbeit. In Abbildung 2 sind die erforderlichen Kompetenzen je Stakeholder in unterschiedlichen Phasen des Lebenszyklus für die Use-Case-Kette smart.tag am Beispiel von HKLS-Komponenten abgebildet.

Abbildung 2: Kompetenzübersicht für die UCK smart.tag am Beispiel von HKLS-Komponenten

smart.tag Intelligente Bauteile	Projektabschnitte														
	Vorbereitung	Vorentwurf	Entwurf	Einreichplanung	Ausführungsplanung	Ausschreibung	Vergabe	W/Montageplanung	Ausführung (BAU)	Übernahme (Betreiber)	Betrieb (FM)	Umbau	Rückbau	Wiederverwendung	Entsorgung/Recycling
<b>AG/Nutzende</b>															
Auftraggeber	+														
Projektsteuerung	o	o	o	o	o	o	o	+	+	+					
BIM-Koordination	++	o	o	o	o	o	o	o	+	o	+	o	+	o	
BIM-Entwicklung (IT)															
Baujuristen	+					+	+	+							
FM / Betreiber	+	o	o	o	o	o	o	o	+	+	+	+	+	+	+
<b>Planende</b>															
Architektur															
Tragwerksplanung															
HKLS	++	+	+	+	+	+	+	+	+		+		+		
Elektrotechnik															
MSR															
Vermessung	+							+							
Brandschutz															
Bauphysik															
<b>Aufsicht</b>															
ÖBA								+							
FBA-TP															
FBA-HT								+	+		+		+		
FBA-ET															
<b>Ausführende</b>															
Rohbau															
Ausbau															
Haustechnik								+	+	+		+	+	+	
Elektrotechnik															
MSR															
<b>Digitale Kompetenzen (insbesondere BIM)</b>															
hohe Kompetenz erf.	++														
erforderlich	+														
erwünscht	o														

### 5.1.8. Herausforderungen und rechtliche Hürden bei der Umsetzung

Bei der Verortung von Bauteilen und Elementen innerhalb des Bauprojekts in Kombination mit dem Planungsmodell ist es erforderlich, dass Mitarbeitende zumindest in geregelten Situationen ortbar sind. Dadurch kann der Standort der Bauteile bestimmt werden. Gleichzeitig können Bewegungsprofile erstellt werden, die Rückschlüsse auf den Zustand der Person zulassen. So könnten eine Übermüdung, monatlich wiederkehrende Abweichungen von Standardpausenzeiten und vieles mehr bestimmt werden. Eine Lösung wäre beispielsweise das bewusste Starten einer „Aufzeichnung“ durch bestimmte Tätigkeiten wie Aktivierung mittels Codes an bestimmten Stellen, in Kombination

mit einer Pseudonymisierung von Daten und automatischer Löschung von personenbezogenen, nicht mehr erforderlichen Daten, nach der erfolgten Auswertung sowie Verortung der Bauteile im BIM-Modell.

Besonders im Bereich kritischer Infrastruktur ist es essentiell, nur die nötigsten Daten öffentlich zu Verfügung zu stellen. Für eine erfolgreiche Kreislaufwirtschaft ist es jedoch erforderlich, umfangreiche Bauteilkataloge mit Standorten zu pflegen und Beteiligten im Bauprozess bereitzustellen. So erlauben Elemente wie Tresore oder umfangreichere IT-Ausstattungen Rückschlüsse auf neuralgische Orte eines Gebäudes. Eine Abwägung der unterschiedlichen Interessen ist essentiell.

### **5.1.9. Einfügung in das Programm Stadt der Zukunft**

Durch die Identifikation von Bauteilen im Lebenszyklus eines Gebäudes und über diesen hinaus wird eine Kreislaufwirtschaft ermöglicht, die Ressourceneffizienz gesteigert und ein Schritt in Richtung klimaneutraler Wirtschaft gesetzt. Damit adressiert die Use-Case-Kette smart.tag Kernziele des Programms Stadt der Zukunft.

## **5.2. UCK Twin-gestützte Fabrikation mittels openBIM (open.fab)**

### **5.2.1. Vision der UCK open.fab**

Durch eine durchgängige Datenübergabe mit ausführungsrelevanten Informationen über die jeweiligen Planungsphasen hinweg wird eine automatisierte Fertigung von Elementen direkt aus offenen Formaten wie IFC ermöglicht. Eine deutliche Aufwandsreduktion in der Ausführungsplanung ist zu erwarten.

Die automatisierte Fertigung führt zu schnelleren Bauzeiten, einer höheren Ausführungsqualität auf den Baustellen, geringerem Verschchnitt und ermöglicht bei durchgängiger Identifikation, sowohl die Logistik als auch den Einbau auf der Baustelle anhand von openBIM-Daten durchzuführen und zu dokumentieren.

Anhand der Identifikation sowie der Sicherheit, dass die tatsächlich geplanten Elemente hergestellt und verbaut wurden, ist langfristig eine Kreislaufwirtschaft möglich. Demontierte Bauteile werden nach einer Aufbereitung wieder der Bauwirtschaft zugeführt.

Die entwickelten Lösungen sind nicht von bestimmten Programmen oder Herstellern abhängig. Ein Vendor Lock-in wird vermieden und es müssen im Rahmen der Anwendung keine Anpassungen an neue Anbieter erfolgen. Eine nachhaltige, langfristige Nutzung ist sichergestellt.

### **5.2.2. Ziele der UCK open.fab**

Die UCK *open.fab* soll durch einen phasenübergreifenden Datenaustausch eine möglichst automatisierte Vorfertigung von Bauteilen in Fabriken ermöglichen und durch Identifizierung der Elemente, diese in eine Kreislaufwirtschaft überführen. Die relevanten Schnittstellen von open.fab lassen sich den folgenden Projektphasen zuordnen:

- Planung
- Herstellung
- Logistik
- Einbau
- Wiederverwendung

Im Detail beschrieben, stellen sich die Ziele wie folgt dar:

#### **Fabrikationsoptimierte openBIM-Planung**

Die Planung stellt über offene Formate wie IFC erweiterte Modelldaten zur Verfügung. Diese zusätzlichen Informationen ermöglichen es den Folgegewerken, eine automatisierte Fertigung durchzuführen.

#### **openBIM-gestützte Fabrikation**

Durchführung einer automatisierten Fertigung und Identifikation von Bauteilen nach der Übergabe von Planungsdaten mittels einer IFC-Datei an das fertigende Unternehmen.

#### **openBIM-gestützte Logistik und Bauausführung in der Gebäudetechnik**

Eine durchgängige Identifikation der Bauteile ermöglicht, sowohl die Logistik als auch den Einbau auf der Baustelle anhand von Modelldaten durchzuführen und zu dokumentieren.

#### **Kreislaufwirtschaft durch Modelldaten**

Durch eine durchgängige Identifikation lassen sich die jeweiligen Komponenten nach der Demontage identifizieren und lagern. Nach einer Aufbereitung, beispielsweise bei Luftauslässen durch Reinigung, den Tausch von Filtern und neuen Blenden werden diese wieder in den Produktkreislauf eingebracht.

### **5.2.3. Anforderungen an die UCK open.fab**

Die UCK open.fab setzt bei der Umsetzung hohe Anforderungen an Partner und das praktische Umfeld. Für eine gute Realisierbarkeit sollten die aufgelisteten Anforderungen abgeklärt sein:

- Abweichungen in Leistungsbildern und Bauprozessen
- Schnittstelle IFC und Maschinenteknik
- openBIM-Kompetenzen
- Kennzeichnung
- Kreislaufwirtschaft (Nutzung über mehrere Gebäudelebenszyklen)

Im Detail stellen sich diese wie folgt dar:

#### **Leistungsbilder**

Durch die fertigungsorientierte Planung werden Leistungen aus nachfolgenden Gewerken der Ausführung in die Sphäre der Planenden verschoben. Im aktuellen Leistungsbild ist eine BIM-Planung nicht vollumfänglich enthalten. Derzeit sind beispielsweise nur in höhenkritischen Bereichen Schnitte

erforderlich. Außerdem sind sämtliche Planungsgegenstände im Grundriss M 1:50 lediglich nahezu lagerichtig abzubilden.<sup>1</sup>

Für die UCK bei einer Fokussierung, z.B. auf die Lüftungstechnik, ist es unter anderem erforderlich, dass die Planung eine höhere Genauigkeit aufweist, die einzelnen Teile lagerichtig angeordnet sind, in BIM sowie 3D modelliert wird und gerade Luftkanäle in Schusslängen geplant werden. Je nach Projektumfeld ist es erforderlich, die Tragkonstruktion abzubilden.

Für diese Verschiebungen müssen die rechtlichen Rahmenbedingungen geschaffen werden. Abzuklären ist die Haftung für die jeweiligen Vorleistungen durch die Planenden wie auch die Haftung bei Änderungen durch unterschiedliche Stakeholder. Durch die Aufwandsverschiebung ist das aktuelle Vergütungsmodell anzupassen.

### **Schnittstelle IFC und Maschinentechnik**

In Abhängigkeit der Projektumgebung und der bereitstehenden Fertigungslandschaft sind unterschiedliche Schnittstellen bzw. Maschinen mit Daten zu beliefern. Bei Voruntersuchungen konnten gemeinsame Basisinformationen ermittelt werden, die im Bereich der Lüftungstechnik über Hersteller hinweg ähnlich ausgeführt sind und eine Harmonisierung zumindest teilweise machbar erscheinen lassen.

### **openBIM**

Essentiell für eine praktische Umsetzbarkeit der UCK sind ausreichende BIM-Kompetenzen der Beteiligten je Projektphase. In der Kompetenzmatrix (Abschnitt 5.2.7) sind diese dargestellt.

### **Kennzeichnung und Kreislaufwirtschaft**

Eine funktionierende Kreislaufwirtschaft setzt eine entsprechende Kennzeichnung bzw. Identifizierbarkeit von Bauelementen voraus. Diese ist bereits im ersten Objekt über den Lebenszyklus erforderlich und muss bis zum letzten Einbau und die Entsorgung des Elements durchgängig sein. Bei beispielsweise Luftkanälen oder Luftdurchlässen aus Stahlblech ist eine Verwendung über lange Zeiträume denkbar. Die Kennzeichnung muss auch noch in 50 oder 100 Jahren ablesbar und verarbeitbar sein. An dieser Stelle sei auf die UCK smart.tag (siehe Abschnitt 5.1) verwiesen, welche die Themen Kennzeichnung und Verfolgbarkeit behandelt.

Für Machbarkeitsstudien in Pilotprojekten ist eine Kennzeichnung nicht in diesem Umfang erforderlich, jedoch muss immer die Verknüpfung von BIM-Modelldaten zu den gefertigten Elementen möglich sein.

## **5.2.4. Abhängigkeiten der UCK**

Es besteht keine direkte Abhängigkeit zu anderen Use-Case-Ketten. Zur Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft basierend auf vorgefertigten Teilen entsprechend der UCK open.fab ist jedoch ein effizientes Tagging hilfreich. Synergien bestehen daher zur UCK smart.tag. Die automatisierte Produktion gemäß open.fab ermöglicht ein zuverlässigeres asBuilt-Modell, welches wiederum für das

---

<sup>1</sup> Vgl. Fachverband Ingenieurbüros, Die unverbindliche Kalkulationsempfehlung, Leistungsbild Technische Ausrüstung, S. 6-12

Tagging von Bauteilen erforderlich ist. Umgekehrt erleichtert smart.tag die Verbindung von Modelldaten, Fertigungsdaten, Logistik und Kreislaufwirtschaft.

### 5.2.5. SWOT-Analyse der UCK open.fab

Stärken [intern]	Schwächen [intern]
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Effizienzsteigerung</li> <li>• Höhere Ausführungsqualität bei schnellen Bauzeiten</li> <li>• Modell- und Datendurchgängigkeit: Plan &gt; Fertigung &gt; asBuilt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unklare Fertigungslandschaft</li> <li>• Planer erstellen keine Werkplanung</li> <li>• Steigerung der Planungskomplexität</li> </ul>
Chancen [extern]	Risiken [extern]
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mangel an Fachkräften und Handwerker*innen entgegenwirken</li> <li>• Recyclingfähigkeit wird ermöglicht</li> <li>• Reduktion von Verschwendung</li> <li>• Effizienter, schneller, friktionsfreier, billiger, sinnvoller</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schwierig frühzeitig die erforderlichen Informationen einzupflegen</li> <li>• Keine Standards</li> <li>• Aktuelles Vertragsumfeld</li> <li>• Bezahlung vs. Aufwand</li> <li>• Hohe Kompetenz erforderlich</li> <li>• Umgang mit baubegleitender „Planung“ und Änderungswünschen</li> </ul>

### 5.2.6. Umsetzung Richtung Leuchtturmprojekt

Die Abwicklung von Bauprojekten ist stark kosten- und termingetrieben. Besonders in der Ausführung gibt es wenig zeitlichen Spielraum und damit auch eine geringe Fehlertoleranz. Die UCK open.fab muss deshalb im Rahmen eines Leuchtturmprojekts bereits vor der tatsächlichen Umsetzung anhand eines realen Bauprojekts gestartet werden. Optimal wäre ein Start noch vor der Ausschreibungsphase für Planungsleistungen damit entsprechende Anforderungen im Leistungsbild enthalten sind. In dieser Vorbereitungsphase erfolgt eine Grundlagenermittlung, welche die Schnittstellen zwischen Planung und Fertigung sowie eine Verfolgbarkeit (Tagging) betrifft.

Im Anschluss ist eine Konzeptentwicklung erforderlich, bei der sowohl die IFC-Datenübergabe als auch die Fertigung und die durchgehende Verfolgbarkeit (Tagging) berücksichtigt wird. Bei der Konzepterprobung sind auch Datenbankanbindungen zu unterschiedlicher Autorensoftware zu berücksichtigen. Erst wenn das Konzept mit Sicherheit funktioniert, kann das Projekt fortgeschrieben werden. Dabei werden entsprechende Erkenntnisse und Methoden noch vor dem Projektstart in einer AIA festgehalten.

In der Planungsphase ist ein vollständiges BIM-Modell als digitaler Zwilling von größter Wichtigkeit. Die Überprüfung muss automatisiert erfolgen und eine Vollständigkeit sicherstellen. Bei der Erprobung bietet sich die Reduktion auf einzelne Gewerke oder Teile davon an. Bei der Umsetzung im Bereich der Lüftungstechnik würde sich ein Fokus auf Luftkanalformteile sowie gerade Stücke anbieten.

Die Fertigung erfolgt gemäß den definierten Methoden und ist bereits vor Projektstart erfolgreich geprüft und freigegeben. Bei der Umsetzung erfolgt die Datenübertragung so weit wie möglich automatisiert. Manuelle Eingriffe sind soweit wie möglich zu reduzieren. Bereits während der Fertigungsplanung wird das Tagging berücksichtigt und abschließend erfolgt die Überprüfung des gefertigten Bauteils mit den Sollmaßen der Planung inklusive erforderlicher Toleranzen.

Für eine Kreislaufwirtschaft ist die Verfolgbarkeit sowie Verortung im BIM-Modell erforderlich. Nach der Fertigung erfolgt der Einbau, welcher mit dem BIM-Modell abgestimmt wird. Die Methoden dazu werden in der UCK smart.tag erläutert.

Die Reduktion auf einen Teil eines Gewerks (z.B. Lüftung) stellt als Minimallösung an die Beteiligten geringere Anforderungen. Bei der Maximallösung würde die größtmögliche Anzahl an Elementen aller Gewerke mit aus IFC-Modellen abgeleiteten Informationen vorgefertigt und auf die Baustelle verbracht und eingebaut werden.

### **5.2.7. Zielgruppen und notwendige Kompetenzen**

#### **Zielgruppen**

Die Ergebnisse sind für die gesamte Baubranche relevant. In der Planung und Herstellung können Prozesse optimiert werden, im weiteren Produktleben ermöglicht die Wiederverwendung eine Kreislaufwirtschaft. Die UCK open.fab wurde exemplarisch an der Lüftungstechnik ausgearbeitet, ist jedoch auf jedes andere Gewerk anwendbar. Modulsysteme bieten sich dafür besonders an. Bereits in den Interviews wurde die UCK auf Betonfertigteile erweitert. Die Herstellung von Beton bzw. Zement erzeugt 3,3% der österreichischen Treibhausgasemissionen. Eine Wiederverwendung ermöglicht eine deutliche Reduktion der Emissionen. Ein sehr hohes Potential weist die UCK auch im Holzmassivbau auf.

#### **Kompetenzen**

Für die Umsetzung der UCK open.fab sind in den unterschiedlichen Projektphasen BIM-Kompetenzen erforderlich. In Abbildung 3 sind die erforderlichen Kompetenzen je Stakeholder in unterschiedlichen Phasen des Lebenszyklus von HKLS-Komponenten abgebildet.



Gewerk, demonstriert werden. In Folgeprojekten erfolgt die Betrachtung anderer Phasenabschnitte und über mehrere Gewerke hinweg.

### **5.2.9. Einfügung in das Programm Stadt der Zukunft**

Durch das große Ausmaß der Individualisierung in der Baubranche ist die Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft an gewisse Faktoren gebunden. Zum einen muss die Anzahl repetitiver Elemente erhöht werden ohne den gestalterischen Spielraum einzuschränken, zum anderen müssen die Prozesse neu gedacht und umgestellt werden, um diese Elemente langfristig in mehreren Bauvorhaben erneut nutzen zu können.

Modulare Systeme und Bauweisen bieten eine gute Ausgangsbasis, um langfristig einen Großteil der verplanten und verbauten Komponenten in eine Kreislaufwirtschaft einfügen zu können. Damit diese jedoch als Produkt weiter genutzt werden können, müssen die Eigenschaften der geplanten, aber auch tatsächlich verbauten Elemente identifizierbar und bekannt sein. Die UCK open.fab ist ein „Technologieenabler“ und setzt in einem sehr frühen Planungsstadium an, um eine Durchgängigkeit sowie die Erstellung von asBuilt-Modellen zu vereinfachen.

Die Fertigung mittels Modelldaten stellt sicher, dass die geplanten Elemente den tatsächlich gefertigten und auf der Baustelle verbauten entsprechen und weiterverwendet werden können. Bei der Gebäudeerrichtung reduziert eine exakte Vorfertigung die Anzahl fehlerhafter Bauteile, aber auch den Verschnitt und verkürzt die Bauzeit. Die Ressourceneffizienz wird gesteigert und ein Schritt in Richtung klimaneutraler Wirtschaft gesetzt.

## **5.3. UCK Bau- und Betriebsoptimierung mit bauablaufintegriertem asBuilt-Modell (asBuilt2Work)**

### **5.3.1. Vision der UCK asBuilt2Work**

Die Use-Case-Kette *asBuilt2Work* adressiert das historisch immer wieder auftretende qualitative und quantitative Lieferproblem der baurealitätskonformen Bestandsdokumentation von Bauwerken, die besonders für den effizienten Gebäudebetrieb essentiell ist. Dies soll durch eine intrinsisch motivierte Verknüpfung der klassischen Kerntätigkeiten der Baubeteiligten bewerkstelligt werden. Die grundlegende Integration dieser Aufgabenstellung in den Bauablauf wird über eine vertraglich vorzuschreibende modellbasierte Abrechnung auf Basis objektiv realitätskonformer Abrechnungsteilmodelle hergestellt. Kernelement ist ein im Zuge von regelmäßigen Abrechnungsläufen baufortschrittsgemäß mitwachsendes asBuilt-Gesamtmodell (IST-Zustand), welches in Kombination mit den asPlanned-Ausführungsmodellen (SOLL-Zustand) jederzeit in die vielen bauzustandsabhängigen Tätigkeiten und Entscheidungen einbezogen wird (z.B. Ausführungscoordination, Nachkalkulation, Projektcontrolling etc.). Dadurch entstehen iterativ transparentere, qualitätsbewusstere Bauabläufe und letztlich bessere Bauwerke. Zum Zeitpunkt der Bauwerksübergabe an die Auftraggeber\*in steht somit auch die für den Gebäudebetrieb wichtige asBuilt-Dokumentation automatisch modellbasiert und realitätskonform zur Verfügung, weil sie als essentielle Basis der modellbasierten Tätigkeiten und Bedürfnisse im Bauablauf intrinsisch motiviert erstellt und verwendet wurde.

Die Anforderungen für die Nutzbarkeit des asBuilt-Modells für die gewünschten verschiedenen BIM-Anwendungsfälle müssen über die BIM-Regelwerke (AIA/BAP) als einzelne (aber verknüpft erarbeitete) Use-Cases definiert werden, womit sich ein individuelles, aber abgestimmtes BIM-Bauprojekt ergibt. Das so entstehende as-Built-Gebäudemodell bildet einen wesentlichen Kern des digitalen Gebäudezwilling.

### 5.3.2. Ziele der UCK asBuilt2Work

Die Use-Case-Kette fokussiert darauf, wie ein in den Bauablauf integriertes, praktikables Zusammenspiel von BIM-basierten Bau- und Planungsvorgängen zu effizienten, modellbasierten Bauprojekten führt und gleichzeitig zur Lieferung eines realitätskonformen asBuilt-Modells als Grundlage für einen auf digitalen Zwillingen basierten Baustellen- oder Gebäudebetrieb.

Das lebenszyklusorientierte Hauptziel der Kette beruht auf dem Bedürfnis der Gebäudebetreiber\*in, dass über die modellbasierte, realitätskonforme Abrechnung aus dem Bauprojekt eine brauchbare, realitätskonforme und datendurchgängige asBuilt-Dokumentation für den weiteren Gebäudebetrieb übergeben wird. Der Weg zu diesem Ziel führt über eine abgestimmte, ineinandergreifende modellbasierte Planung, Ausschreibung, Vergabe und Ausführung. Durch die Verkettung der damit möglich werdenden Anwendungsfälle werden an vielen Stellen im Projekt skalierende Mehrwerte geschaffen:

- Es ergibt sich eine kontinuierliche Fortschreibung der asBuilt-Modelle nach realem Baufortschritt und Abrechnung und damit eine natürliche Baufortschrittsdokumentation.
- Es entsteht ein hohes Interesse zur zeitnahen und korrekten Lieferung von asBuilt-Modellen, da diese für die Auftragnehmer\*innen umsatzrelevant sind.
- Eine Prüfung des asBuilt-Modells kann durch Einsatz entsprechender Verfahren (z.B. Laserscans) erfolgen.
- Das entstehende asBuilt-Modell entspricht der bezahlten Bauausführung; Auftragnehmer- und Auftraggeberinteressen fördern die Realitätskonformität.
- Die Erstellung von asBuilt-Modellen für die im AIA und BAP definierten Use-Cases erfolgt, da vertragliche Vorgaben für die modellbasierte Abrechnung gemäß Baurealität als zahlungsrelevant klassifiziert sind.
- Die ausführenden Unternehmen haben ein großes Interesse daran, möglichst nahe am asPlanned-Modell gemäß den Toleranzen im BAP zu bauen, weil dadurch der Aufwand für asBuilt-Anpassungen sinkt.
- Ein baufortschrittsgemäß vorhandenes asBuilt-Modell ist zentrales Element und Enabler im modellbasierten Bauprojekt und Grundlage für den digitalen Gebäudezwilling, was qualitätsvolle Bauabläufe und Transparenz unterstützt.
- Die Möglichkeit der baubegleitenden Dokumentation im asBuilt-Modell erlaubt es, frühzeitig wesentliche Informationen im AIM (Asset Information Model) zu hinterlegen bzw. ein solches aufzubauen.

### 5.3.3. Anforderungen an die UCK asBuilt2Work

Die Use-Case-Kette erfordert einen interdisziplinär kompetenten Umgang mit digitalen Gebäudemodellen auf vielen Ebenen. Sie verknüpft BIM in der Planung und Ausschreibung konsequent mit den Bedürfnissen der digitalen Baustelle. Die Verknüpfung erfolgt gemäß klassischen BIM-Theorien, deren Umsetzung mit heute verfügbaren Standards, Prozessen und Technologien auch praktisch möglich ist bzw. in isolierten BIM-Anwendungen praktisch bereits vielfach erprobt wurde.

Folgende Anforderungen bilden einen Rahmen für die Use-Case-Kette:

- Durchgängige und effiziente BIM-Zusammenarbeit über unterschiedliche Disziplinen und Projektphasen hinweg notwendig.
- Es müssen seitens des Auftraggebers, aber auch des Auftragnehmers gewünschte Anwendungsfälle des digitalen Zwillings definiert werden, um Ziele und Umsetzung konkret bepreisbar zu machen.
- Ein lebenszyklusorientiertes Common Data Environment (CDE) nach ISO19650-1 ist notwendig. Durch die Vielzahl an ineinandergreifenden Anwendungsfällen sollte eine Lösung mit möglichst integrierten Funktionen für digitale Zwillinge verwendet werden, um die Datenflüsse zu den Anwendungen effizient zu halten.
- Tätigkeiten im Bauvorhaben werden weitestgehend Twin-basiert mit einem “model-first” Paradigma erledigt.
- Koordinierte asPlanned-Modelle von Planenden sind Grundlage für die Ausführung. Die Ausführung basiert größtenteils auf aus den Modellen abgeleiteten 2D-Plänen und Details. Konsistenz, Widerspruchsfreiheit und Vermeidung von Redundanz bzw. Mehrfachaufwand ist ein wichtiges Grundprinzip der operativen Tätigkeit.
- An Phasenendpunkten bzw. bei geforderten Übergaben an die Auftraggeber\*in sind openBIM-basierte Lieferungen laut AIA gefordert.
- Die Forderung nach konsistenten und fehlerfreien Planungen bzw. Modellen verlangt einerseits nach sauber definierten Abläufen und Zuständigkeiten und andererseits nach Modellkontrolle und Koordination.
- Abstimmung und Änderungs-/Freigabemanagement müssen primär modellbasiert stattfinden (Transparenz und langfristige Nachvollziehbarkeit).
- Für die Erstellung der Modelle (asPlanned/asBuilt) müssen Mindestanforderungen definiert werden.
- Eine örtliche Bauaufsicht (ÖBA) mit hoher Kompetenz im Bereich Digitalisierung und BIM ist essentiell für die Bewerkstelligung des Übergangs von asPlanned-Modellen zu asBuilt-Modellen.

### 5.3.4. Abhängigkeiten

Die Use-Case-Kette zielt darauf ab, von modellbasierten Bau- und Planungsvorgängen ohne Mehraufwand zu einem modellbasierten Gebäudebetrieb zu gelangen. Ermöglicht wird dies dadurch, dass sich der Prozess in den Bauablauf integriert und in der Bauausführung intrinsische Motivation für die realitätskonforme asBuilt-Dokumentation entsteht. Die weitergehende Nutzung der Vorteile des baufortschrittsgemäß vorhandenen asBuilt-Modells im Bau- und Planungsprozess bzw. im Betrieb lösen die angestrebten Skaleneffekte zur Steigerung der Effizienz in der Anwendung digitaler

Gebäudemodelle aus. Folgende Abhängigkeiten zu anderen im Projekt erarbeiteten Use-Case-Ketten sind gegeben:

- Die UCK bietet durch die Erzeugung des realitätskonformen asBuilt-Modells die Grundlage für die UCK BTWIN bzw. die Infrastruktur für die UCK enEff.
- Die UCK smart.tag stellt eine Unterstützung dar, wie die Realitätskonformität bzw. die dauerhafte Realitätsverknüpfung des asBuilt-Modells erreicht werden kann.

### 5.3.5. SWOT-Analyse UCK asBuilt2Work

Stärken [intern]	Schwächen [intern]
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Use-Case-Kette hat gemeinsam mit einem leistungsstarkem Merkmalsserver viele Vorteile</li> <li>• Schnittstellen-Reduktion</li> <li>• Kostentransparenz durch frühere Entscheidungen reduziert Änderungen</li> <li>• Klare Rollenbilder und Verantwortungen</li> <li>• Modellbasierte(r) Massenauszug und Ausschreibung</li> <li>• Visuelle Kontrolle mindert Fehler</li> <li>• Fachliche Vorteile für klassische Ersteller und Nutzende von asBuilt (win-win)</li> <li>• Transparenz</li> <li>• Enabler für viele BIM-Visionen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simulationstaugliche Baufortschrittskontrolle und –modelle fehlen</li> <li>• Unklare rechtliche Struktur</li> <li>• Zielkonflikte bei der Modellierung</li> <li>• Zielkonflikte bei den Geschäftsfeldern</li> <li>• Hoher Zeitaufwand bei Pilotprojekten und mangelnde Standardisierung</li> </ul>
Chancen [extern]	Risiken [extern]
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rechtliche Zusammenhänge berücksichtigen</li> <li>• Kostenschätzung und Transparenz von Beginn weg</li> <li>• Zeitersparnis ohne Qualitätsverlust</li> <li>• Schnell belastbare Entscheidungen treffen können (online, agil)</li> <li>• Rückbau, Recycling modellierbar</li> <li>• BIM ist nicht nur eine Software - Awareness für Kosten schaffen</li> <li>• Design to Cash – Entscheidungen werden sichtbar, spürbar, transparent</li> <li>• Anti Claim Ansatz (transparent, konfliktarm, partnerschaftlich)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Branche will nicht transparent sein</li> <li>• Interessenskonflikte zwischen Beteiligten</li> <li>• Frühe Informationen erfordern anderen Prozesse und Reduktion von Änderungen</li> <li>• Fehlendes Verständnis für neue Prozesse</li> <li>• Späte Einsicht über tatsächlichen Nutzen</li> <li>• Fehlende Beauftragung und Bezahlung</li> <li>• Hemmschwelle bei Modellübergabe</li> <li>• Kein Interesse an Durchgängigkeit</li> <li>• Abstraktes Thema für Entscheidungsträger</li> <li>• Umsetzbarkeit schwierig</li> <li>• Fehlende Property-Definitionen</li> <li>• Historisches Rollenverständnis</li> <li>• Ausführende müssen erst überzeugt werden</li> </ul>

### 5.3.6. Umsetzung Richtung Leuchtturmprojekt

Die Use-Case-Kette asBuilt2Work zielt auf die Erzeugung und bauablaufintegrierte Nutzung eines phasendurchgängig realitätskonformen asBuilt-Modells als Katalysator für ineinandergreifende Anwendungsfälle ab, welche in einem Leuchtturmprojekt demonstriert werden können. Die Wesentlichen sind wie folgt zu charakterisieren:

- asBuilt2Work 1:** Kompetente Definition und Setup der notwendigen Basis IT-Infrastruktur und Personalkompetenzen.
- asBuilt2Work 2:** Softwaregestützte Anforderungsdefinitionen und deren Umsetzung und Überprüfung
- asBuilt2Work 3:** Modellbasierte Ausschreibung auf Basis eines asPlanned-Modells
- asBuilt2Work 4:** Modellbasierte Baustellendokumentation und -koordination auf Basis von asPlanned-, asBuilt- und asMeasured-Modellen
- asBuilt2Work 5:** Abrechnung, Claimmanagement und Baucontrolling auf Basis des asBuilt-Modells
- asBuilt2Work 6:** Baufortschrittsgemäße, anforderungsgemäße Lieferung des asBuilt-Modells zum Auftraggeber
- asBuilt2Work 7:** Modellbasiertes Facility Management auf Basis des asBuilt-Modells
- asBuilt2Work 8:** Lieferung des asBuilt-Modells an Planung bei Um-, Zu-, Rückbau

### 5.3.7. Zielgruppen und notwendige Kompetenzen

#### Zielgruppen

Die Use-Case-Kette erfordert durch den ineinandergreifenden Charakter und dadurch entstehende Skaleneffekte eine Involvierung fast aller Beteiligten im Lebenszyklus eines Bauwerks. Zuallererst profitiert durch das Vorhandensein einer modellbasierten Abbildung der Bausubstanz die Gesellschaft, durch die Schaffung eines Datenbestandes zur Umsetzung der von Nachhaltigkeitszielen. An nächster Stelle und verknüpft mit gesellschaftlichen Nachhaltigkeitszielen steht der Effizienzgewinn in der baurechtlichen Verwaltung. Ein modellbasiert vorhandener landesweiter Bauwerks- und Infrastrukturbestand erlaubt eine optimierte Raum- und Flächenentwicklungsplanungen sowie effiziente Genehmigungsverfahren für Neu- und Umbau bzw. Abriss. Von dieser verwaltungsrechtlichen Effizienz und potentiell transparenten Entscheidungsfindung (z.B. automatische Konformitäts-Vorprüfungsportale) profitieren Bauauftraggeber\*innen und Investoren. Bauauftraggeber\*innen profitieren durch die modellbasierte Abwicklung in vielen Hauptbereichen des Bauprojekts, unter anderem durch hohe Qualität sowie genauere Kosten- und Terminplanung.

Baubeteiligte können durch die frühzeitig klarere Auftragsituation exakter planen und kalkulieren bzw. ungeplante Mehraufwände im Bauablauf aus Auftragsänderungen transparent darstellen und legitim verrechnen. Daraus entsteht ein stabiler Bau- und Immobilienmarkt mit Preisen basierend auf leistungsgerechter Kostenwahrheit und systematischer Gewinnkalkulation.

Von der systematischen Plan- und Optimierbarkeit bzw. Realitätskonformität der entstehenden Gebäudemodelle profitieren Gebäudebetreiber\*innen, in deren Betätigungszeitraum traditionell der Hauptteil der Kosten eines Gebäudes fällt, am meisten. Modellbasierter Betrieb auf Basis des asBuilt-Modells und die Pflege dessen lässt eine signifikante Bewirtschaftungskostenreduktion erwarten, da traditionelles Facility Management zu einem erheblichen Teil aus Informationssuche, (wiederholter) Datenerhebung und (wiederholter) Datenvalidierung besteht.

### **Kompetenzen**

Die notwendigen Kompetenzen zur Umsetzung der Use-Case-Kette asBuilt2Work müssen von den direkt an der Ausführung beteiligten Partnern eingebracht werden, da sie die realitätskonforme asBuilt-Modellerzeugung in ihre konventionellen Kerntätigkeiten integrieren müssen. Alle anderen Zielgruppen können schrittweise von der modellbasierten Infrastruktur profitieren und haben weniger interdisziplinäre Abhängigkeiten zu beachten.

Abbildung 4 gibt einen Überblick, welche unmittelbaren Baubeteiligten welches Kompetenz-Niveau (nach heute möglichen Standards, Best-Practices und Technologien) in welcher Lebenszyklusphase eines Bauwerks besitzen müssen, um die UCK asBuilt2Work effektiv umsetzen zu können.

### **5.3.8. Herausforderungen und rechtliche Aspekte bei der Umsetzung**

Eine Umsetzung der UCK erfordert starke Bauauftraggeber, die zwingend die nötige Arbeitsweise und die notwendigen Kompetenzen von den relevanten Projektbeteiligten einfordern. Dafür braucht es eine partnerschaftliche Vertragsgestaltung nicht nur zwischen Bauauftraggeber\*in und Baubeteiligten, sondern auch zwischen den Baubeteiligten, um eine die partnerschaftliche Gesamtzieelerreichung zu forcieren. Auftragshonorare könnten z.B. zu einem Teil an gemeinsame Ziele geknüpft werden, damit bei allen das Interesse einer partnerschaftlichen und zielorientierten Zusammenarbeit besteht. Aufgrund der vielschichtigen Neuerungen bei der UCK muss im Bauprojekt, ausgehend vom Bauauftraggeber, eine Kultur der gemeinsamen Kompetenzentwicklungsmöglichkeiten für die Partner ermöglicht werden.

Abbildung 4: Kompetenzübersicht für die UCK asBuilt2Work

<b>asBuilt2Work</b> Bau- und Betriebs- optimierung mit bauablaufintegriertem asBuilt-Modell		Projektabschnitte														
		Vorbereitung	Vorentwurf	Entwurf	Einreichplanung	Ausführungsplanung	Ausschreibung	Vergabe	W/Montage planung	Ausführung (BAU)	Übernahme (Betreiber)	Betrieb (FM)	Umbau	Rückbau	Wiederverwendung	Entsorgung/Recycling
<b>AG/Nutzende</b>																
Auftraggeber	++															
Projektsteuerung	++			+	++	++				++						
BIM-Koordination	++	o	o	o	+	++			++	++	++	++	++	o	o	
BIM-Entwicklung (IT)	++	+	o	o	+	+	o	++	++	++	+					
Baujuristen	++					++	++									
FM / Betreiber	++			+	++	+			++	++	++	++	++	o		
<b>Planende</b>																
Architektur	+	+	++	+	++	++	+		++		+	++	o			
Tragwerksplanung	+	+	++	+	++	++	+		++			++	o			
HKLS	+	+	++	+	++	++	+		++		+	++	o			
Elektrotechnik	+	+			+	++	o		+		+	++	o			
MSR	+	+			+	+	o		+		+	++	o			
Vermessung									++		+					
Brandschutz	+	o	++	+	++	++										
Bauphysik	+	o	++	+	++	++										
<b>Aufsicht</b>																
ÖBA									+	++	++					
FBA-TP									+	++	++					
FBA-HT									+	++	++					
FBA-ET									+	++	++					
<b>Ausführende</b>																
Rohbau									+	++	++					
Ausbau									+	++	++					
Haustechnik									+	++	++					
Elektrotechnik									+	+	++					
MSR									o	+	++					
<b>Digitale Kompetenzen (insbesondere BIM)</b>																
hohe Kompetenz erf.	++															
erforderlich	+															
erwünscht	o															

### 5.3.9. Einfügung in das Programm Stadt der Zukunft

Die Baubranche ist einer der größten Verbraucher von Ressourcen sowie material- und ablaufbedingt ein substantieller Verursacher von CO<sub>2</sub>-Emissionen. Die UCK asBuilt2Work ist ein Mittel wie mit digitalen Gebäudemodellen Effizienz (Skaleneffekte) in den Bauprozess einfließt und forciert die Umsetzung der mittels digitalen Modellen möglichen Planungsoptimierungen, da die Use-Case-Kette intrinsische Motivation auslöst so zu bauen wie geplant. Diese Umsetzungsrelevanz von detaillierter, vorausschauender Planung in der Use-Case-Kette sowie aktuelle gesetzliche Entwicklungen Richtung

Nachhaltigkeit fördern wiederum die Ambitionen zur Planungsoptimierung bzw. Nachhaltigkeitsumsetzung.

Durch das Vorhandensein eines realitätskonformen asBuilt-Modells nach Baufertigstellung, welches in den Gebäudebetrieb einfließt, kann dieser modellbasiert effizient stattfinden. Zudem hätte die Baubehörde über eine modellbasierte Fertigstellungsmeldung entsprechend des gebauten Ist-Standes eine Datenbasis über verbaute Ressourcen im Gebäudebestand ihres Zuständigkeitsbereichs. Dies erlaubt Auswertungen und gesetzliche Steuerungsmaßnahmen über die behördlich zu genehmigenden fortlaufenden Neu- und Umbaumaßnahmen. Ein solcher Gebäudedatenbestand ist eine wertvolle Basis für eine zukünftige Kreislaufwirtschaft.

Die technisch-organisatorisch anspruchsvollen, jedoch heute lösbaren Herausforderungen der Use-Case-Kette asBuilt2Work sollten als zu überwindendes Problem betrachtet werden, da die Use-Case-Kette Enabler-Charakter für viele Ebenen in gesellschaftlich wichtigen Problemfeldern hat. Der Nutzen der erreichbaren Ziele überwiegt den Aufwand zur Überwindung der momentan gegebenen Skepsis bei Weitem und rechtfertigt diesbezügliche weitere Forschung.

## **5.4. UCK Energieeffizienz in der Heizungs-, Lüftungs-, Klimatechnik (enEff)**

### **5.4.1. Vision der UCK enEff**

Die Energieeffizienz des Gebäudebetriebs hängt wesentlich von den Hauptenergieverbrauchern Heizung, Lüftung und Klimatisierung (HLK) ab. Hohe Effizienz im Betrieb erfordert eine durchgängige Qualitätsprüfung der Planung, Ausführung und Inbetriebnahme der technischen Gebäudeausrüstung (TGA). Modellbasierte Prozesse und Datendurchgängigkeit ermöglichen diese Effizienzsteigerungen, sofern der darunterliegende digitale Zwilling in allen Tools und durch alle Phasen hindurch genutzt werden kann. Der Schlüssel liegt in den kritischen Schnittstellen zwischen Planung und Ausführung sowie der Vervollständigung des asBuilt-Modells und der Verknüpfung dieses Modells mit den dynamischen Betriebsdaten. Dies erfordert die Vervollständigung der erforderlichen digitalen Definitionen und Erweiterung des IFC-Standards, um die Übergabe von Information über die Phasen zu gewährleisten.

### **5.4.2. Ziele der UCK enEff**

Die Use-Case-Kette *enEff* fokussiert sowohl auf die Entwicklung von Prozessen als auch von Schnittstellen zur phasenübergreifenden Verwendung von energierelevanten Modellinhalten. In der Planungsphase sollen Architektur und HLK-Planung unterstützt werden, um in einen iterativen Prozess zu gelangen. Dabei sollen planerische Änderungen nahtlos in das Energiemodell (BEM-Modell) übergehen, um so ein laufendes Feedback zu ermöglichen und eine Entscheidungshilfe bezüglich der Energieperformance des Gebäudes zu liefern. Ergebnisse aus Simulationen werden in das Energiemodell überführt und für spätere Phasen bereitgehalten.

Die Ausführungsphase wird durch die zuvor definierten und umgesetzten Anforderungen dahingehend unterstützt, dass notwendige Komponenten bereits verortet und in ihrem notwendigen Funktionsumfang beschrieben sind. Somit lässt sich ein Abgleich zwischen Planung und Umsetzung

baubegleitend umsetzen, was eine Verbindung zur UCK asBuilt2Work darstellt. Bei Änderungen an Komponenten in der Ausführungsphase, die eine erneute Überprüfung der geplanten Funktionsweise bedingen, kann aus den aktualisierten Modellen nahtlos eine Überprüfung stattfinden.

Das abgeschlossene asBuilt-BEM-Modell wird als Grundlage für den Betrieb übernommen. Die zuvor simulierten Ergebnisse dienen dabei als Vergleich zwischen Planung und Betrieb. Fehlerhafte Funktionsweisen bzw. Optimierungsmaßnahmen können damit frühzeitig und laufend erkannt und umgesetzt werden. Somit besteht in dieser Phase eine starke Verknüpfung zur UCK BTWIN.

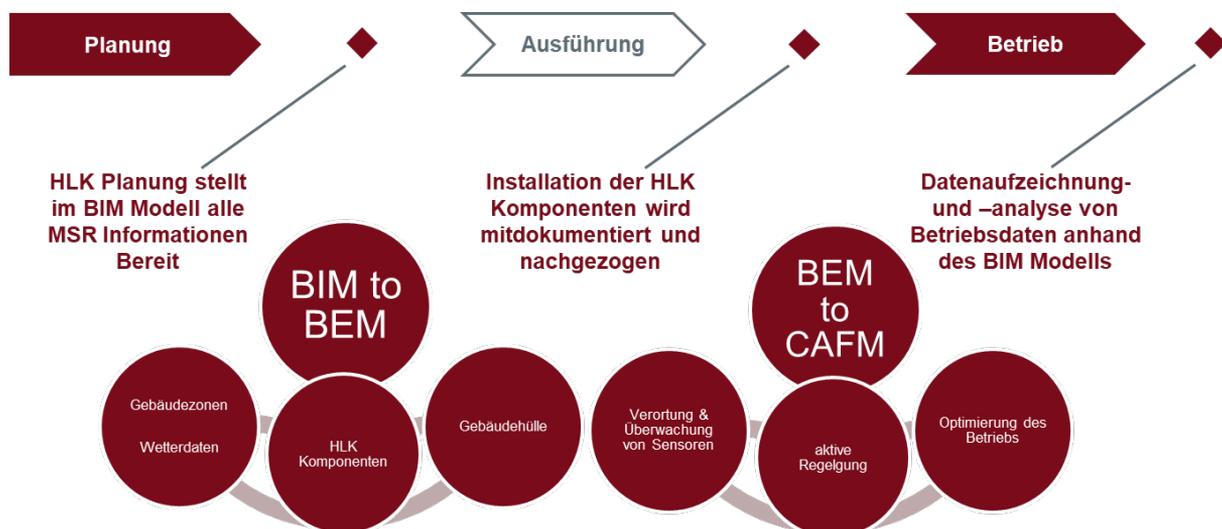
In Abbildung 5 sind sowohl der schematische Ablauf, als auch beispielhafte Anforderungen dargestellt. Nachstehend sind die allgemein gültigen Ziele der UCK enEff zusammengefasst:

**Ziel 1:** Verwendung offener Standards wie IFC, um die Zugänglichkeit zum Datenmodell des digitalen Zwillings zu gewährleisten

**Ziel 2:** Definition von Schnittstellen zwischen Planung, Ausführung und Betrieb

**Ziel 3:** Dynamische Betriebsdaten mit statischen Planungsdaten zu einem semantischen Modell verknüpfen

Abbildung 5: Use-Case-Kette enEff



### 5.4.3. Anforderungen an die UCK enEff

Da die Use-Case-Kette mehrere Fachdisziplinen und eine Vielzahl an Software umfasst, ist ein einheitliches Verständnis der notwendigen Prozesse bei allen Beteiligten notwendig. Zu diesem Zweck ist es förderlich, wenn am Projektbeginn ein exemplarischer Durchlauf der beschriebenen Prozesse stattfindet. Nachstehend sind entscheidende Anforderungen genauer beschrieben:

#### MSR-Daten in HLK-Planung

Die HLK-Planung stellt im BIM-Modell alle Informationen bereit, damit ein MSR-Technik-Konzept erstellt werden kann. Dazu gehören Ortsinformationen der HLK-Komponenten, Raumnummer, Ausrichtung, Positionierung, Informationen über Anlagen zur Energiebereitstellung und deren

Dimensionierungen sowie Betriebsmodi und Leistungen. Auf Seiten der Aktoren braucht es z.B. Informationen zu Ventilen, Klappen und deren Eigenschaften sowie Sensoren und deren Eigenschaften. Durch die Modellierung aller von der MSR-Technik und Gebäudeautomation benötigten Komponenten in den Gewerken und Vergeben eines AKS-Schlüssels (Anlagenkennzeichnungssystem) sollen sämtliche in der Gebäudeautomation relevanten Elemente in den Modellen vorhanden sein und mittels Prüfroutinen bezüglich deren Informationsgehalt und Vorhandensein kontrolliert werden können.

### Bauüberwachung HLK

Der Fortschritt der Installationen wird im BIM-Modell mitdokumentiert, Änderungen werden nachgezogen. Nach Installation stehen der MSR-Technik alle relevanten Daten zur Verfügung.

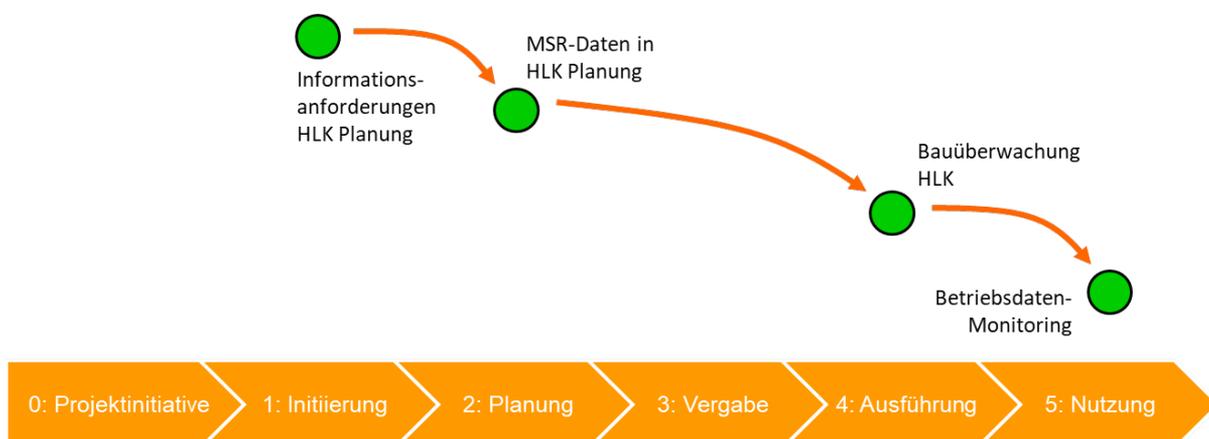
### Betriebsdaten-Monitoring

Die Datenaufzeichnung und die Analyse von Betriebsdaten erfolgen anhand der Informationen, die im BIM-Modell abgelegt wurden. Die Sensoren und Aktoren sind mit Datenpunktlisten gekoppelt, die für ein Monitoring des Betriebs erforderlich sind. Bei der Kommissionierung wird geprüft, ob Modell und Bestand übereinstimmen.

#### 5.4.4. Abhängigkeiten der UCK

Abbildung 6 zeigt die Abhängigkeiten der Use-Case-Kette enEff im Phasendiagramm des Baulebenszyklus. Beginnend bei der Planung, wo die relevanten Daten im openBIM-Format IFC modelliert werden, ist eine modellbasierte Bauüberwachung erforderlich, um anschließend die Funktionalität der Gebäudetechnik anhand von semantisch augmentierten Betriebsdaten zu validieren.

Abbildung 6: Abhängigkeiten der Use-Case-Kette enEff innerhalb der Projektphasen



### 5.4.5. SWOT-Analyse der UCK enEff

#### Stärken [intern]

- Kürzere Inbetriebnahmephase
- Simulation vor Errichtung als Entscheidungshilfe
- Kostenreduktion beim Engineering
- Schnelle Adaption an veränderte Umstände

#### Schwächen [intern]

- Leistungsbild unzureichend für Abgeltung
- Vertragliche Gestaltung
- Fehlende Normierung
- TGA-Konzept in openBIM noch nicht 3D-fähig

#### Chancen [extern]

- Optimaler Betrieb bietet ökonomische Vorteile
- Zufriedenheit mit dem Gebäude spürbar
- Einhaltung von Nachhaltigkeitsprinzipien
- Großes Einsparungspotenzial von CO<sub>2</sub>, Kosten bzw. Energie im Betrieb
- Intensiverer Austausch zwischen Architektur, Haustechnik und Regelungstechnik

#### Risiken [extern]

- Abgrenzung statt Offenheit
- Abrechnung nach BIM vs. Normen
- Zu große Komplexität, Überforderung der Projektbeteiligten
- Aufwand und Nutzen zwischen Erstellenden und Nutzenden ungleich verteilt
- Hohe Kompetenzen erforderlich

Eine tiefere strategische Analyse zeigt, dass die fehlende Standardisierung von Datenmodellen einen wesentlichen Hinderungsgrund der raschen Implementierung darstellt. Ebenso fehlt derzeit eine gerechte Vergütung von Mehraufwänden eines Stakeholders, die in einen Nutzen für andere Stakeholder übersetzt werden. Rechtliche Aspekte („Wort vor Bild“) sind in Richtung modellbasierte Verträge noch nicht ausreichend ausgearbeitet und erfordern weitere Untersuchungen.

### 5.4.6. Umsetzung Richtung Leuchtturmprojekt

Die Herausforderung dieser Use-Case-Kette ist die Durchgängigkeit von Planung, Ausführung und Betrieb über Gewerkegrenzen hinweg, wobei nach jetzigem Stand nicht alle Gewerke die gleiche Kompetenz in der BIM-Methodik haben. In der HLK-Planung und vor allem MSR-Technik stehen Neuerungen in IFC an, die aber erst im Markt umgesetzt werden müssen, um die Datendurchgängigkeit gewährleisten zu können.

In einer Leuchtturmprojektumsetzung ist somit zuerst eine Technologieentwicklungsphase erforderlich, in der zumindest exemplarisch die HLK-Planung vollständig BIM-basiert durchgeführt wird. Dazu sind voraussichtlich Anpassungen an den verwendeten Softwaretools notwendig sowie die Implementierung von Übersetzern, welche die Übergabe von einem Tool zum nächsten möglich machen. Nach dieser Technologieentwicklungsphase kann die Validierung in einem realen Bauprojekt erfolgen. Da hier der Planungs- und Baufortschritt der maßgebliche Taktgeber ist, müssen die notwendigen Softwarekomponenten bereits verfügbar und getestet sein, damit während der Bauprojektlaufzeit nur minimale Anpassungen erforderlich sind.

Organisatorisch soll das Leuchtturmprojekt die BIM-Koordination und das BIM-Management unterstützen. Als Vorbereitung für die regelmäßig stattfindenden Koordinationsmeetings soll an den Data Drops die notwendige Qualitätssicherung mithilfe der angepassten oder neu entwickelten Software-Tools so durchgeführt werden, dass ein hohes Maß an Transparenz erzielt wird, anhand der das BIM-Management die notwendigen Key-Performance-Indikatoren (KPIs) für Planungsfortschritt und Modellqualität ableiten kann.

Im weiteren Verlauf soll dann auch die Modellqualität des asBuilt-Modells gewährleistet werden, in dem die erforderlichen Informationen zur TGA, insbesondere der Mess-, Steuer-, und Regeltechnik (MSR) in einer Form enthalten sind, die sowohl für die Planung als auch für die Ausführung der MSR-Technik verwendet werden kann, und somit in den Betrieb übergeleitet werden können.

### **5.4.7. Zielgruppen und notwendige Kompetenzen**

#### **Zielgruppen**

Mit Blick auf die EU-Taxonomie-Verordnung müssen bereits Auftraggeber\*innen ein Interesse an der Nachweisbarkeit von Effizienzmaßnahmen haben. Diese lassen sich in der Use-Case-Kette darstellen und bieten daher eine Entscheidungshilfe bei Investitionen. Da für die UCK gewisse Hindernisse in Software-Ketten miteinbezogen bzw. beseitigt werden müssen, stellen adaptierte Softwarelösungen ein großes Potential dieser UCK dar. Somit werden BIM-spezifische Softwareentwickler\*innen stark angesprochen. In der Planungs- und Durchführungsphase profitiert die HKLS- bzw. Elektrotechnik-Planung durch die Möglichkeit zusätzlicher Leistungsangebote, Steigerung der Planungseffizienz sowie einer Qualitätssteigerung der eigenen Planung.

Langfristig gesehen profitiert der Gebäudebetrieb (d.h. Facility Management) am stärksten von der UCK, da spätere Anforderungen bereits in frühen Planungsphasen identifiziert werden können und diese somit schon ab der Übergabe bereit stehen. Ebenso verhält es sich beim effizienten Betrieb des Objekts, da laufend ein Abgleich zwischen Planung und Betrieb vorgenommen werden kann.

#### **Kompetenzen**

Die notwendigen Kompetenzen zur Umsetzung der Use-Case-Kette enEff sind in Abbildung 7 ersichtlich. Dabei zeigt sich, dass breite BIM-Kompetenzen über mehrere Planungsphasen als auch Fachdisziplinen erforderlich sind.

Abbildung 7: Kompetenzübersicht für die UCK enEff

<b>enEff</b> Energieeffizienz in der Heizungs-, Lüftungs-, Klimatechnik	<b>Projektabschnitte</b>	Vorbereitung	Vorentwurf	Entwurf	Einreichplanung	Ausführungsplanung	Ausschreibung	Vergabe	W/Montage planung	Ausführung (BAU)	Übernahme (Betreiber)	Betrieb (FM)	Umbau	Rückbau	Wiederverwendung	Entsorgung/Recycling
--	--------------------------	--------------	------------	---------	-----------------	--------------------	---------------	---------	-------------------	------------------	-----------------------	--------------	-------	---------	------------------	----------------------

AG/Nutzende	
Auftraggeber	
Projektsteuerung	
BIM-Koordination	
BIM-Entwicklung (IT)	
Baujuristen	
FM / Betreiber	

+																	
+	o	o	+	+	o	o	+	+	+								
++	o	o	o	+	o	o	+	o	++	+							
++				++							++						
o																	
++	o	o	+	+	o	o	o	o	++	++							

Planende	
Architektur	
Tragwerksplanung	
HKLS	
Elektrotechnik	
MSR	
Vermessung	
Brandschutz	
Bauphysik	

+	+	+	+	+	+			+	+								
++	+	++	+	++	o	o	++	o	++								
+	+		+	++	o	o	++	o	++								
++	+		+	++	o	o	++	o	++								
+								+									
+	o	o	+														

Aufsicht	
ÖBA	
FBA-TP	
FBA-HT	
FBA-ET	

								+	+	+							
								+	++	++							
								+	+	+							

Ausführende	
Rohbau	
Ausbau	
Haustechnik	
Elektrotechnik	
MSR	

								o	o	o							
								o	o	o							
								+	++	++							
								+	+	++							
								+	+	++							

**Digitale Kompetenzen (insbesondere BIM)**

hohe Kompetenz erf.	++
erforderlich	+
erwünscht	o

**5.4.8. Herausforderungen und rechtliche Hürden bei der Umsetzung**

Die größte Hürde bei der Umsetzung der UCK enEff stellt die prozessuale Änderung des Planungsablaufs im Vergleich zu einer klassischen Planung dar und mit dieser auch vertragliche Änderungen. Anforderungen für den Betrieb eines Objekts müssen bereits in den Entwurfsphasen definiert werden, weshalb bereits in dieser Phase spätere Benutzer\*innen bekannt sein müssen. Ein entsprechendes Projekt muss als Demonstrator gefunden werden.

Für die Optimierung und Überwachung des Betriebs muss der Zugriff auf entsprechende Daten laufend gewährleistet sein. Dies stellt eine datenschutzrechtliche Herausforderung dar, wofür entsprechende Partner gefunden werden müssen, die bereit sind, diese Daten bereit zu stellen.

Da sich die UCK von der Entwurfsphase bis hin zum Betrieb erstreckt, ist fraglich, ob die dadurch geschaffene Komplexität in einem einzigen Projekt umgesetzt werden kann. Alternativ können die notwendigen Schritte und Anforderungen für den Phasenübergang von der Planung hin zur Ausführung in einem Projekt verfolgt werden und die daraus gewonnenen Erkenntnisse in ein Folgeprojekt für den Übergang von Ausführung hin zum Betrieb übernommen werden.

#### **5.4.9. Einfügung in das Programm Stadt der Zukunft**

Die Use-Case-Kette stellt einen Beitrag zum Subthema „1.1 Technologieentwicklungen für Digitales Planen, Bauen und Betreiben“ in der 8. Ausschreibung Stadt der Zukunft dar, da sie die Einbindung digitaler Technologien und Anwendungen in die Prozessvielfalt des Planens, Bauens und Betriebens erarbeitet und für die Technische Gebäudeausrüstung strukturiert. Das Potenzial der Digitalisierung durch digitale Zwillinge ist klar ersichtlich und hat einen direkten Einfluss auf die Dekarbonisierung von Gebäuden.

### **5.5. UCK Twin-basierter Gebäudebetrieb (BTWIN)**

#### **5.5.1. Vision der UCK BWTIN**

Die UseCase-Kette *BTWIN* beinhaltet Anwendungsfälle von BIM und Digitalen Zwillingen im Bereich des Facility Managements. Es wurden bereits eine Vielzahl möglicher Anwendungsfälle (Digital Findet Stadt 2024b) identifiziert. Ein digitaler Zwilling basierend auf BIM bietet dem Facility Management die Möglichkeit viele Aspekte eines Gebäudes effizienter zu verwalten. Die Vorteile des Einsatzes sind unter anderem eine verbesserte Planung und Kontrolle von Wartungsarbeiten, ein optimiertes Management von Betriebsdaten und deren Kontextualisierung in Echtzeit, die Erleichterung des Zugriffs auf technische Daten und ein verbessertes Verständnis der Gebäudestruktur und der Gebäudetechnik sowie auch eine einfachere Verwaltung und Zuweisung von Ressourcen. Dadurch kann der Gebäudebetrieb sicherer, effizienter, effektiver und umweltfreundlicher gestaltet werden.

Komplementär zu den anderen Use-Case-Ketten dieses Sondierungsprojekts fokussieren sich die *BTWIN*-Anwendungsfälle auf die Betriebs- und Nutzungsphase im Lebenszyklus des Gebäudes. Eine Umsetzung der Anwendungsfälle ist derzeit zwar möglich, bedingt aber großen Mehraufwand. Das ist der Tatsache geschuldet, dass auf Grund der Trennung zwischen Gewerken und Projektphasen kein durchgehendes digitales Gebäudemodell erstellt wird, welches die Anforderungen des Betriebs abbildet und daher zum Start der Betriebsphase keine geeigneten Modelle vorliegen. Es erfordert daher großen Aufwand geeignete Modelle zu erstellen und in den Betrieb zu integrieren, um ein auf digitalen Zwillingen und BIM gestütztes Gebäudemanagement umzusetzen.

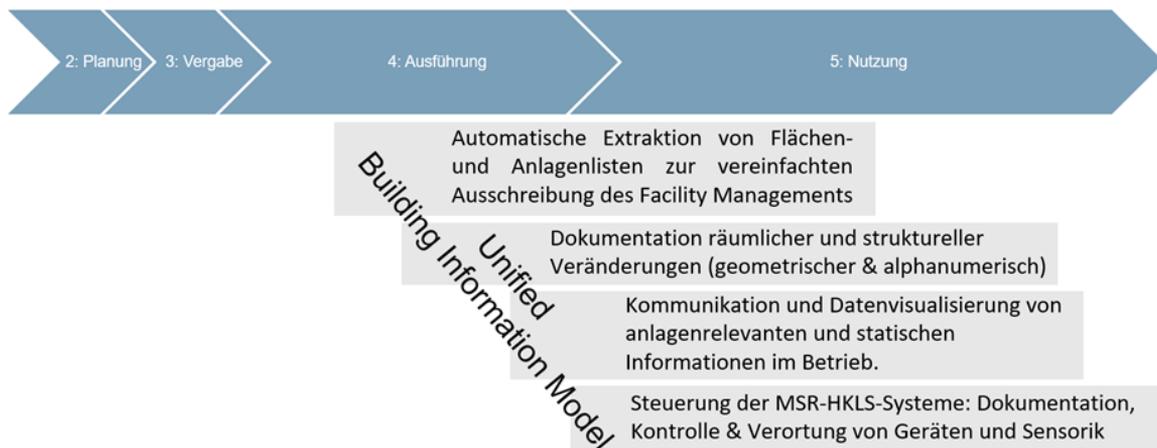
Die *BTWIN*-Vision ist ein offenes Unified Building Information Modell (z.B. IFC-Erweiterung), also ein integral erzeugtes phasenübergreifendes und adaptives asBuilt-Modell, welches eine Schnittstelle zwischen den Lebenszyklusphasen bildet und die Umsetzung eines Twin-gestützten Gebäudemanagements ermöglicht.

### 5.5.2. Ziele der UCK BTWIN

Die Use-Case-Kette fokussiert auf die Entwicklung eines phasenübergreifenden Building Information Modeling (inklusive der notwendigen digitalen Werkzeuge) um den modellgestützten Betrieb eines Gebäudes zu realisieren und zu demonstrieren. Die UCK betrachtet Facility Management (FM) und die Anforderungen an ein digitale Gebäudemodelle in unterschiedlichen Phasen, angefangen von einer modellgestützten FM-Ausschreibung, über die Implementierung von Veränderungsmanagement bei Umbauten in der Nutzungsphase, bis hin zu Regelung, Visualisierung und Anlagenmanagement im laufenden Betrieb (Abbildung 8). Die Anwendungsfälle stehen in Abhängigkeit zu den anderen Use-Case-Ketten des TWIN-Projekts, da sie auf Informationen wie sie z.B. im Rahmen der UCK enEff oder asBuilt2Work erfasst werden angewiesen sind.

Ziel ist es, die derzeit vorhandenen, individuellen, zweckgebundenen Datensilos aufzubrechen und in ein integral erzeugtes adaptives asBuilt-Modell zu integrieren, um eine effiziente Wiederverwendung von Daten im gesamten Lebenszyklus für Planung und Betrieb und eine Erfassung von Veränderungen in Ausführung und Betrieb zu gewährleisten. Damit wird für den Betrieb eine objektive gefüllte/geprüfte/verwendete Datengrundlagen geschaffen welche die flexible und optimierte Steuerung von Anlagen und Ressourcen ermöglicht.

Abbildung 8: Use-Case-Kette BTWIN



### 5.5.3. Anforderungen an die UCK BTWIN

Die Interviews mit Expert\*innen haben ergeben, dass alle Daten, die zur Umsetzung der Use-Case-Kette notwendig sind an sich existieren. Diese werden aber aus verschiedenen Gründen nicht oder nur bedingt ins Facility Management übernommen. Ein Grund ist das Fehlen von Schnittstellen. Deshalb werden die vorhandenen Daten nicht in das FM übernommen, sondern durch das FM werden eigene Lösungen erarbeitet. Zur Lösung muss eine offene und standardisierte Schnittstelle zwischen FM und IFC erarbeitet werden bzw. eine Möglichkeit aufgezeigt werden, wie IFC nativ im Rahmen des FM verwendet werden kann, um einen Vendor Lock-In zu verhindern. Weiters muss die Weiterverarbeitbarkeit von IFC gewährleistet werden, z.B. die Möglichkeit, nachvollziehbar in bestehenden Modellen Geometrien anzupassen und zu ändern. Damit einher besteht die Notwendigkeit nach nachvollziehbarer Versionierung der Modelle bei kontinuierlicher Veränderung und Anpassung. Bei einem Großteil der Gebäude handelt es sich um Bestandsprojekte, welche über

kein digitales Gebäudemodell verfügen. Es stellt sich dir Frage, ob und wie man diese Gebäude mit möglichst geringem Aufwand in solche Prozesse überführen kann.

Um Services in der Nutzungsphase zu realisieren müssen geeignete Erweiterungen bestehender Common Data Environments (CDE) und Datenmodelle entwickelt werden. CDE's müssen um die Rolle des FM ergänzt werden, die Datenmodelle müssen erweitert werden damit sie relevanten Betriebsprozesse unterstützen und die damit verbundenen Daten (z.B. anlagenspezifische Daten wie Leistung, angeschlossene Komponenten, versorgte Bereiche oder Herstellerangaben sowie flächenbezogene Daten wie Materialien, Abmessungen, Nutzungsart und Verortung) bereitstellen. Außerdem braucht es die Möglichkeit aus einem BIM-Modell bzw. digitalen Zwilling die relevanten Plandaten inklusive der dazugehörigen Maße und Bauteilinformation abzuleiten (z.B. Vergabe-relevante Informationen wie Massenangaben).

#### **5.5.4. Abhängigkeiten der UCK**

Wie in Abbildung 8 dargestellt erstrecken sich die Anwendungsfälle der Use-Case-Kette BTWIN über die Phasen Ausführung und Nutzung. Die Abhängigkeiten bauen auf jenen der UCK asBuilt2Work und enEff auf und erfordern einen interdisziplinär kompetenten Umgang mit digitalen Gebäudemodellen auf vielen Ebenen über mehrere Phasen.

Grundlage für die Realisierung ist ein Common Data Environment, welches die Daten von Beginn des Bauprojekts enthält, sowie ein offenes BIM-Format, welches eine Modellierung von FM-relevanten Aspekten bereits in der Planung erlaubt (siehe MSR-Daten in HLK-Planung wie in UCK enEff angeführt). Außerdem bedarf es in der Ausführungsphase Prozesse um die, für das FM relevanten Veränderungen in der Ausführung zu erfassen und in das Model einzupflegen (siehe realitätskonforme bauablaufintegrierte asBuilt-Dokumentation der UCK asBuilt2Work). Die Anforderungen an solche Prozesse sind sehr ähnlich zu jenen eines BIM-basierten Veränderungs-Managements in der Nutzungsphase, wobei sich die Methoden in den Anwendern unterscheiden (Facility Management vs. Ausführende).

Um die verschiedenen Stadien der Use-Case-Kette zu demonstrieren sind wahrscheinlich mehrere BIM Bauvorhaben in unterschiedlichen Phasen (z.B. Planung/Ausführung/ Nutzung) notwendig. Einzelne Anwendungsfälle könnten dann auf Basis einer gemeinsamen Methodologie in unterschiedlichen Phasen umgesetzt werden. Somit könnte man die Erprobung und Demonstration parallelisieren und eine Kompatibilität der Methoden zwischen den Phasen sicherstellen. Ein weiterer Punkt der dadurch untersucht werden könnte ist, ob bzw. wie und mit welchem Aufwand Bestandsprojekte in ein Twin-basiertes Gebäudemanagement überführt werden können. Es ist auch denkbar die Use-Case-Kette anhand eines Bauvorhabens zu demonstrieren. Das würde aber eine sehr lange Laufzeit erfordern, um die Anwendungsfälle in den einzelnen Phasen umzusetzen und testen zu können.

### 5.5.5. SWOT-Analyse UCK BTWIN

#### Stärken [intern]

- Guter Hebel für IFC („Türöffner“)
- Schnittstellenreduktion
- Verlinkt gut mit anderen UCK – einzelne Use-Cases könnten umgesetzt werden (in Kombination mit Use-Cases aus anderen UCK)
- Gebäudenutzung kann transparent gemacht werden
- Bestehende Best-Practice Beispiele demonstrieren keine Durchgängigkeit und sind nur punktuell umgesetzt

#### Schwächen [intern]

- Bauauftraggebender ist oft nicht der Betreibende; dies gefährdet die Umsetzung der UCK
- FM und BIM im Forschungskontext schon relativ stark erforscht
- Zu viel Information bezüglich eines Gebäudes oft nicht erwünscht
- Durchführung der gesamten UCK in einem Projekt sehr unwahrscheinlich (Laufzeit)

#### Chancen [extern]

- Effizienter, optimierter Betrieb
- Erhöhung des Automatisierungsgrads
- Transparente und kontextualisierte Information
- Einhaltung von Nachhaltigkeitsprinzipien
- Lebenszykluskosten und Benefits können genau quantifiziert werden

#### Risiken [extern]

- Aufwand bei Bestandsgebäuden zu groß
- Tool-Komplexität erhöht sich rapide
- Datenschutz, Datenhoheit und Haftung unklar
- Abhängigkeit von CDEs

### 5.5.6. Umsetzung Richtung Leuchtturmprojekt

#### Technisch/operative Anforderungen an ein Pilotprojekt (Bauvorhaben)

Der modellgestützte Gebäudebetrieb basiert auf dem Vorhandensein von gut strukturierten Daten aus den vorangegangenen Phasen des Lebenszyklus. Dies schließt im Wesentlichen die Ausführung, aber auch frühere Phasen wie die Planung und Vergabe mit ein. Aus diesem Grund ist für eine Umsetzung in einem Demonstrationsprojekt (Leuchtturmprojekt) auch die Initialphase eines Projekts relevant. In dieser Phase wird definiert, wie und in welcher Form Planungs- und Ausführungsschritte dokumentiert und strukturiert werden. In einem Leuchtturmprojekt sollte ein Bauvorhaben als Pilot vorhanden sein, bei dem es vom Auftraggeber ein Commitment zu einer digitalen Abwicklung des Projekts gibt (falls das Gebäude erst in der frühen Planungsphase ist) oder entsprechende strukturierte und vollständige Informationen für ein digitales Bauprojekt vorhanden sind.

Eine wesentliche Voraussetzung für die Use-Case-Kette BTWIN ist ein CDE, das Daten ab Beginn des Bauprojekts enthält. Dabei ist es zwar wünschenswert, dass so ein CDE bereits operativ verwendet wird, da dies den Nutzen eines solchen noch mehr verdeutlicht und auch den Aufwand im Leuchtturmprojekt reduziert. Allerdings ist die Durchführung der UCK im Leuchtturmprojekt auch möglich, wenn kein CDE verwendet wurde oder wird. In diesem Fall ist es allerdings unbedingt notwendig, dass alle notwendigen Daten in entsprechend strukturierter und konsistenter Form

vorliegen. Das beginnt beim BIM-Modell der Planung, beinhaltet aber auch andere technische Dokumente beispielsweise rund um die technische Gebäudeausrüstung. Nicht zuletzt ist auch die strukturierte Erfassung der wesentlichen rechtlichen Zusammenhänge relevant, beispielsweise Rechte an bestimmten Assets. Unabhängig davon, ob ein CDE in einem Bauprojekt vorhanden ist, ist es eine wesentliche Aufgabe der UCK im Leuchtturmprojekt ein CDE entsprechend mit Informationen zu füllen und während der unterschiedlichen Phasen aktuell zu halten. Während sich die Struktur und der Umfang des CDE im Verlauf des Leuchtturmprojekts ändern können, soll sich nach Beginn der Betriebsphase ein Katalog von Anforderungen an ein CDE und die darin enthaltenen Daten ergeben, wobei hier wiederum nach Art der Nutzung des Gebäudes und anderen Parametern zu unterscheiden ist.

Ist ein CDE für die Planung vorhanden, ist es für ein Leuchtturmprojekt wichtig, dass alle wesentlichen Anlagen und Assets frühestmöglich erfasst werden. Idealerweise begleitet das Leuchtturmprojekt ein Pilotprojekt bereits ab der Bauphase. Andernfalls ist eine nachträgliche vollständige Erfassung der Anlagen und Assets erforderlich. Jedenfalls sollten alle Anlagen vor Übergabe des Projekts in die Betriebsphase im CDE vorhanden sein, als Basis für den operativen Teil der UCK.

In der Betriebsphase ist eine wesentliche Voraussetzung, dass der Gebäudebetrieb durch Tools unterstützt wird, die mit strukturierten Daten aus vorangegangenen Lebenszyklusphasen arbeiten können oder insoweit erweiterbar bzw. anpassbar sind, dass dies im Rahmen des Leuchtturmprojekts möglich ist.

### **Begleitende Tätigkeiten zum Pilotprojekt im Leuchtturmprojekt**

Die Durchführung der UCK ist sehr stark abhängig von Art und Fortschritt des Pilotprojekts bei Beginn des Leuchtturmprojekts. Idealerweise startet das Leuchtturmprojekt gleichzeitig mit der Planungsphase des Bauvorhabens oder kurz danach. Da ein CDE eine wesentliche Grundlage für diese UCK ist, kann hier seitens der Projektpartner bei der Auswahl beraten und bei der Instanziierung unterstützt werden. Während der Planungsphase werden alle möglichen Informationen, die bereits strukturiert vorliegen, in das CDE übernommen (z.B. technische Dokumente, Modelle, wesentliche Zusammenhänge aus Verträgen). Während der Ausführungsphase ist die Baufortschrittsdokumentation ein wesentlicher Schwerpunkt. Die asBuilt-Modelle sollen möglichst dem Baufortschritt entsprechend aktualisiert werden. Darüber hinaus sind strukturierte bildliche Informationen sowie Informationen über die Installation der technischen Gebäudeausrüstung zu dokumentieren. Letztlich sollte dann bei Fertigstellung des Bauvorhabens ein umfangreicher und konsistenter Zwilling im CDE vorhanden sein (siehe UCK asBuilt2Work).

### **Begleitende Forschungstätigkeit**

Parallel zur Datenerfassung und Begleitung während der Planungs- und Bauphase soll an den konkreten Anwendungsfällen und deren Wert während des Gebäudebetriebs gearbeitet werden. Einerseits sollen bereits bekannte Anwendungen auf ihre Voraussetzungen hinsichtlich Daten und Strukturen untersucht werden und im Planungs- und Bauprozess berücksichtigt werden. Eine wesentliche und erste Anwendung ist beispielsweise die Ausschreibung von FM relevanten Dienstleistungen. Dazu muss eine Grundlage für eine systematische Ausschreibung und Bewertung gemacht werden.

Andererseits soll auf Basis der möglichen Daten, die erfasst werden können, an entsprechenden Anwendungsfällen für den Gebäudebetrieb gearbeitet werden. So können beispielsweise neue Applikationen entworfen werden oder bereits etablierte „analoge“ Prozesse optimiert werden. Beispielsweise ermöglicht die Erfassung von 3D-Fotos in Kombination mit einer entsprechenden Plattform für das Monitoring von technischen Anlagen eine Fernwartung und eine schnellere Wartung vor Ort.

Darüber hinaus sollen aus den Erkenntnissen des Planungs- und Bauprozesses entsprechende Rollen identifiziert oder definiert werden, die für das Gelingen der Schaffung einer passenden Datengrundlage dienen. Die Definition und Beschreibung solcher Rollen setzt sich dann fort bis zum Gebäudebetrieb. Abhängig von den neuen Anwendungen und Prozessen sollen dann für die Betriebsphase neue Rollenbeschreibungen geschaffen werden.

### **Formale Voraussetzungen**

Eine wesentliche Voraussetzung ist das Vorhandensein eines Bauprojekts, bei dem man Zugriff auf die wesentlichen Projektdaten hat. Dies umfasst auch ausgewählte Informationen aus Vertragsdokumenten und entsprechender Kommunikation. Eine kritische Voraussetzung ist die Ausschreibung, Auswahl und Vergabe der FM-Dienstleistungen. Hier sollte auf die Zwischenergebnisse aus der Begleitforschung entsprechend Rücksicht genommen werden.

### **5.5.7. Zielgruppen und notwendige Kompetenzen**

Fokus der UCK BTWIN ist die Realisierung eines integralen Twin-gestützten Gebäudebetriebs, beginnend bei der Ausschreibung des Facility Managements über die Dokumentation räumlicher und struktureller Veränderungen bis hin zur Steuerung und Optimierung des Gebäudes. Direkte Hauptzielgruppe dieser Services ist daher das Facility Management sowie in weiterer Folge die Betreiber wie auch die Nutzer\*innen, die an den Vorteilen des optimierten Betriebs partizipieren und Einfluss auf den Betrieb nehmen können. Während die Zielgruppe der UCK relativ klein ist, bedarf es zur Umsetzung der Anwendungsfälle eine Vielzahl von Kompetenzen. Das ist der Tatsache geschuldet, dass die UCK bereits in der Ausführungsphase startet. Die notwendigen Kompetenzen sind in der nachfolgenden Abbildung 9 abgebildet und decken sich teilweise mit den erforderlichen Kompetenzen der Use-Case-Ketten enEff und asBuilt2Work.

Die notwendigen Kompetenzen beschränken sich hier auf die Projektabschnitte Übernahme, Betrieb und Umbau, setzen aber das Vorhandensein eines geeigneten BIM-Models und CDE voraus. Falls dieses bei Projektstart nicht vorhanden ist, müsste es entsprechend erstellt werden, sofern die Use-Case-Kette oder Teile davon mit anderen vorgelagerten Anwendungsfällen (siehe asBuilt2Work, enEff) umgesetzt werden kann. Im Rahmen der BTWIN-Anwendungsfälle kann gegebenenfalls auf die Modelle zurückgegriffen werden, die im Rahmen der anderen UCK erstellt wurden.

Abbildung 9: Kompetenzübersicht für die UCK BTWIN

<b>BTWIN</b> <i>TWIN basierter Gebäudebetrieb</i>	<b>Projektabschnitte</b>	Vorbereitung	Vorentwurf	Entwurf	Einreichplanung	Ausführungsplanung	Ausschreibung	Vergabe	W/Montage planung	Ausführung (BAU)	Übernahme (Betreiber)	Betrieb (FM)	Umbau	Rückbau	Wiederverwendung	Entsorgung/Recycling
--	--------------------------	--------------	------------	---------	-----------------	--------------------	---------------	---------	-------------------	------------------	-----------------------	--------------	-------	---------	------------------	----------------------

<b>AG/Nutzende</b>
Auftraggeber
Projektsteuerung
BIM-Koordination
BIM-Entwicklung (IT)
Baujuristen
FM / Betreiber

										+	+					
										o	++	+				
											++	++				
										o	++	++				

<b>Planende</b>
Architektur
Tragwerksplanung
HKLS
Elektrotechnik
MSR
Vermessung
Brandschutz
Bauphysik

										o	o	o				
										o	o	o				
										o	o	o				

<b>Aufsicht</b>
ÖBA
FBA-TP
FBA-HT
FBA-ET


<b>Ausführende</b>
Rohbau
Ausbau
Haustechnik
Elektrotechnik
MSR

										+	+	o				
										+	+	+	o	+		
										+	+	+	++	+		
										+	+	+	++	+		
										+	+	+	++	+		

**Digitale Kompetenzen (insbesondere BIM)**

- hohe Kompetenz erf. ++
- erforderlich +
- erwünscht o

**5.5.8. Herausforderungen und Rechtliche Hürden bei der Umsetzung**

Eine rechtliche Herausforderung betrifft die vertraglichen Vorkehrungen zum Datenschutz und der Datensicherheit, um ein Einhalten der gesetzlichen Vorgaben wie DSGVO oder DSG sicherzustellen. Neben der vertraglichen Regelung zur Sicherstellung der Datensicherheit bedarf es auch einer Spezifikation von Zugriffs- und Bearbeitungsrechten der beteiligten Stakeholder auf die digitalen Modelle in den unterschiedlichen Lebenszyklusphasen sowie der Definition von geeigneten Prozessen zur Datenverarbeitung bzw. -speicherung, welche dann im Rahmen des Projekts technisch umgesetzt werden müssen.

Es ist fraglich, ob die UCK mittels eines Demonstrators umgesetzt werden kann, da dies eine sehr lange Projektlaufzeit erfordern würde. Alternativ könnte die UCK mittels mehrerer Demonstratoren umgesetzt werden, welche sich in unterschiedlichen Phasen der Ausführung befinden. Bei so einem Vorgehen muss die Kompatibilität der Schnittstellen in den unterschiedlichen Phasen und damit einhergehend die Modeldurchgängigkeit über mehrere unabhängige Demonstratoren sichergestellt werden. Die Aufteilung der Entwicklung in mehrere Demonstrationsobjekte würde es auch erlauben, ausgewählte Anwendungsfälle unterschiedlicher UCK zu kombinieren und gemeinsam zu untersuchen.

Wie auch in den anderen UCK bedarf die Umsetzung von BTWIN (vor allem die Anwendungsfälle, welche die Ausschreibung des FM bzw. eine kontinuierliche Dokumentation der räumlichen und strukturellen Veränderung des Gebäudes im Betrieb betreffen) das Zusammenspiel verschiedener Stakeholder in unterschiedlichen Gebäudephasen und daher realitätskonforme Modelle, Werkzeuge und Schnittstellen zum BIM, welche eine kollaborative Arbeit zwischen den unterschiedlichen Stakeholdern als auch die kontinuierliche Erfassung von Veränderungen im Modell, sowie eine Zusammenführung von Modell- und Betriebsdaten ermöglichen.

#### **5.5.9. Einfügung in das Programm Stadt der Zukunft**

Die Use-Case-Kette BTWIN stellt einen Beitrag zu den Subthemen „1.1 Technologieentwicklungen für Digitales Planen, Bauen und Betreiben“ und „1.2 Gebäude- und Energielösungen für die klimaneutrale Stadt“ der 8. Ausschreibung Stadt der Zukunft dar. In der Umsetzung werden die Einbindung digitaler Technologien und Anwendungen im Kontext des FM erarbeitet. Die Phasen ab Betrieb (i.e., Nutzung, Instandhaltung, Rückbau und Entsorgung) verursachen circa 80% der Lebenszykluskosten (Building Radar 2020). Ein Twin-gestützter und optimierter Betrieb kann einen signifikanten Beitrag zu „Gebäude- und Energielösungen für die klimaneutrale Stadt“ liefern.

# 6 Schlussfolgerungen

## 6.1. Im Projekt gewonnene Erkenntnisse: Technische und nicht-technische Forschungsfragen je Use-Case-Kette (FE&D-Maßnahmen)

Obwohl die Anwendung digitaler Gebäudemodelle (z.B. in Form von BIM-Modellen) in Teilbereichen der Planung, der Ausführung und des Betriebs zunimmt, ist eine durchgängige lebenszyklusorientierte Nutzung von Gebäudedaten bzw. Gebäudemodellen in Form leistungsfähiger und praktikabler digitaler Gebäudezwillinge derzeit nur bedingt in der Praxis erkennbar. Damit bleiben technologische Potentiale ungenutzt, welche in der Bau- und Immobilienwirtschaft im Sinne einer Steigerung der Produktivität, des ressourcenschonenden Einsatzes von Rohstoffen und Baumaterialien, der Energieeffizienz und der Nutzung erneuerbarer Energien sowie der Transparenz von Bauprojekten jedoch dringend gehoben werden sollten.

Die Ergebnisse des Projekts zeigen, dass neben der technischen Komplexität auch eine Reihe nicht-technischer Aspekte ausschlaggebend dafür sind. Neben rechtlichen Fragestellungen (siehe z.B. Abschnitt 6.3.3) umfassen Letztere vor allem Aspekte hinsichtlich des Aufwandes und des Nutzens der durchgängigen Anwendung digitaler Gebäudemodelle, insbesondere dann, wenn der Anwendungsnutzen zu einem in Bezug auf die Modellerstellung späteren Zeitpunkt im Projekt schlagend wird. In diesem Fall haben die Modellersteller, z.B. in der Planung, einen erhöhten Arbeitsaufwand, Nutznießer der Modelle sind jedoch andere Projektbeteiligte. Fragen wie die faire Vergütung von Aufwänden, die Handhabung von Urheberrecht und Haftung, die organisatorische Abwicklung der Modellweitergabe und -pflege sowie der Datenschutz stehen hierbei im Vordergrund.

Zusammen mit den zu lösenden technischen Problemstellungen ergibt sich in der Gesamtheit ein komplexes Projektumfeld, für dessen technische, organisatorische und rechtliche Bewältigung Erfahrungen und Best-Practice-Beispiele benötigt werden. Diese sollten im Rahmen von öffentlich geförderten und wissenschaftlich begleiteten Pilotprojekten erarbeitet, dokumentiert und öffentlich zugänglich gemacht werden, um damit die Basis für eine breite Anwendung in der Praxis zu legen.

Die im Rahmen dieses Sondierungsprojekts ausgearbeiteten Use-Case-Ketten stellen Anwendungsszenarien dar, bei denen die den Anwendungsfällen zugrundeliegenden digitale Modelle über mehrere Projektphasen hinweg nutzbringend angewendet werden können. Dies steigert die Wirtschaftlichkeit von Investitionen in die initiale Erstellung und weiterführende Aktualhaltung digitaler Modelle und Zwillinge. Die entwickelten Use-Case-Ketten wurden in Kapitel 5 eingehend beschrieben und bewertet. Nachfolgend sind im Zuge der Ausarbeitung identifizierte technische und nicht-technische Forschungsfragen, welche den Bedarf an Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsmaßnahmen (FE&D-Maßnahmen) für die einzelnen Use-Case-Ketten abbilden, zusammengefasst. Diese sollten in zukünftigen Forschungs- und Demonstrationsvorhaben bearbeitet werden.

Anhand der ausgearbeiteten Use-Case-Ketten konnten außerdem grundlegende Themenstellungen und bis dato ungelöste Problemstellungen für die Erstellung und die projektphasenübergreifende lebenszyklusorientierte Nutzung digitaler Gebäudezwillinge identifiziert werden, welche fundamental

zu lösen sind. Diese wurden zu übergeordneten „Forschungs- und Demonstrationsschwerpunkten“ zusammengefasst und in einer Roadmap dargestellt (siehe Abschnitt 7.1.1). In den nachfolgenden Abschnitten 6.1.3 bis 6.1.1 sind zunächst jedoch die identifizierten Forschungsfragen für die entwickelten Use-Case-Ketten zusammengefasst.

### **6.1.1. Forschungsfragen UCK „smart.tag“**

Für die Use-Case-Kette „smart.tag“ wurden folgende UCK-spezifischen technischen und nicht-technischen Forschungsfragen identifiziert:

- Entwicklung und Einführung von Methoden, welche eine frühzeitige Vergabe von Tags in aktuellen Planungsprozessen ermöglichen. Wie lässt sich in aktuellen Planungsprozessen mit vielen Änderungen eine frühzeitige Vergabe von Tags realisieren?
- Entwicklung von Verfahren zur effizienten Erfassung und Verortung von gebauten Elementen. Entwicklung und Demonstration von Technologien zum Auslesen von Tags, die sich für die Anwendung in Bau- und Immobilienprojekten eignen (z.B. fotogrammetrische Verfahren zur automatisierten Positionserkennung von verbauten Elementen).
- Entwicklung von Methoden und Verfahren, die eine Identifizierbarkeit von gebauten Teilen über mehrere Jahrzehnte sicherstellen.
- Entwicklung von Methoden zur automatisierten Modellnachführung durch Erfassung und Verortung von real verbauten getaggten Bauteilen und Komponenten.
- Welche Eigenschaften sollte ein projekt- und länderübergreifendes Bauteilmanagement sowie die Logistik im Rahmen einer Kreislaufwirtschaft aufweisen?
- Entwicklung von Trackingsystemen zur Optimierung der Baustellenlogistik und zur Verortung verbauter Bauteile und Komponenten.

### **6.1.2. Forschungsfragen UCK „open.fab“**

Für die Use-Case-Kette „Open.Fab“ wurden folgende UCK-spezifischen technischen und nicht-technischen Forschungsfragen identifiziert:

- Entwicklung von Methoden und Verfahren, die eine (teil-)automatisierte Fertigung von Bauteilen auf Basis von openBIM-Modellen ermöglichen. Lässt sich ein openBIM-fähiger Informationsfluss fertigungsrelevanter Daten über mehrere Phasen realisieren?
- Evaluierung von Konzepten der Integration herstellerunabhängiger Fertigungsdaten in openBIM Modelle. Lässt sich die Herstellung identer Komponenten unabhängig von den Fertigungsanlagen umsetzen bzw. der Datenfluss harmonisieren?
- Wie lässt sich anhand von Standardisierungen die Komplexität in der Datenerstellung und -weitergabe reduzieren?

- Ist eine bauteilbezogene Kreislaufwirtschaft im aktuellen Planungs- und Fertigungsumfeld umsetzbar? Welche notwendigen Voraussetzungen und Anpassungen sind notwendig, um eine solche realisieren zu können?
- Proof-of-Concept: Aufzeigen der prinzipiellen Durchführbarkeit in einem begrenzt komplexen Umfeld mit einer geringeren Anzahl an Schnittstellen, beispielsweise über zwei Phasen mit einem Gewerk. Darauf aufbauend Ausdehnung des Konzepts auf mehrere Projektphasen und für mehrere Gewerke in einem Folgeschritt.

### **6.1.3. Forschungsfragen UCK „asBuilt2Work“**

Für die Use-Case-Kette „asBuilt2Work“ wurden folgende UCK-spezifischen technischen und nicht-technischen Forschungsfragen identifiziert:

- Ausarbeitung und Demonstration alternativer Bauvertragsformen, welche die zur Umsetzung der UCK nötige bauprojektweite, phasen- und disziplinübergreifende, integrale BIM-Arbeitsweise unterstützt, deren Erfolg auf der gegenseitigen Nutzung von Modellen unterschiedlicher Beteiligter und Disziplinen beruht (d.h. Modellerstellende und Modellnutzende sind unterschiedlich). Wie kann ein Bauvertrag das Gesamtbauziel der Auftraggebenden (z.B. effiziente Projektabwicklung, hohe Planungs- und Ausführungsqualität, hoher ökologischer Standard etc.) auch zum Individual(teil)ziel der Beteiligten machen? Schaffung von rechtlichen Rahmenbedingungen und von Mustern für Vertragsmodelle, welche eine Umsetzung von asBuilt2Work ermöglichen bzw. unterstützen.
- Entwicklung von Anreizsystemen zur Steigerung der Zusammenarbeit sämtlicher Projektbeteiligten, die über Projektphasen hinweg reicht, für eine gemeinsame Zielerreichung im Bauprojekt.
- Einordnung der Ablaufferfordernisse von asBuilt2Work in die bestehende Normenlandschaft und Identifikation und Lösung bestehender Barrieren. Wie können bestehende Baunormen die Ablaufferfordernisse von asBuilt2Work intrinsisch legitimieren?
- Überarbeitung der Leistungsbilder der beteiligten Disziplinen zum Abbau von Barrieren für die Umsetzung von asBuilt2Work. Adäquate bzw. gerechte Abbildung von Mehr- und Minderaufwand durch asBuilt2Work in der Leistungsvergütung.
- Aufbereitung von Best-Practices hinsichtlich IT-Infrastruktur-Setups. Sicherstellung einer durchgängigen Modellweitergabe bis in die Nutzungsphase des Gebäudes.
- Ausarbeitung von Kompetenzprofilen für am Projekt beteiligte Personen.

### **6.1.4. Forschungsfragen UCK „enEff“**

Für die Use-Case-Kette „enEff“ wurden folgende UCK-spezifischen technischen und nicht-technischen Forschungsfragen identifiziert:

- Entwicklung von Methoden zur Prüfung der Vollständigkeit und Korrektheit der Geometrie eines HLK-Systems in seiner Gesamtheit.
- Abbildung von Funktion und Effizienz von HLK-Anlagen in openBIM-Modellen.

- Entwicklung und Demonstration von Modellierrichtlinien, Prüfalgorithmen und integrierten Software-Tools für die Vorhersage des energetischen Verhaltens von Gebäuden und Anlagen mittels Simulation.
- Entwicklung und Demonstration simulationstauglicher asPlanned- und asBuilt-Modelle.
- Demonstration von Best-Practices, welche die integrale Modellierung und durchgängige Nutzung von BIM-Modellen in der HLK über den Lebenszyklus eines Gebäudes zeigen.

### **6.1.5. Forschungsfrage UCK „BTWIN“**

Für die Use-Case-Kette „BBIM“ wurden folgende UCK-spezifischen technischen und nicht-technischen Forschungsfragen identifiziert:

- Demonstration von BIM-basierter Vergabe von FM-Leistungen. Wie lässt sich der FM-Vergabeprozess mittels BIM automatisieren und welche Informationen müssen dazu bereitgestellt werden? Wie können die Informationen für eine BIM-gestützte Vergabe des FM bzw. für den Gebäudebetrieb bereits während des Bauprozesses erfasst und in ein FM-adäquates BIM-Modell eingepflegt werden?
- Weiterentwicklung des IFC-Formats. Wie muss IFC erweitert werden, damit die unmittelbare Verwendung eines im Zuge der Errichtung erstellten BIM-Modells im FM bzw. Gebäudebetrieb einfach möglich ist, um eine Neumodellierung zu vermeiden? Wie können räumliche und strukturelle Veränderungen im laufenden Betrieb erfasst und in das bestehende openBIM-Modell effizient eingepflegt werden?
- Entwicklung von Methoden zur Quantifizierung der Güte von BIM-gestütztem FM. Wie skaliert der Vorteil solcher Systeme mit der Projektgröße?
- Entwicklung von Methoden zur betriebsintegralen Simulation und Optimierung von Gebäuden und deren Anlagen auf Basis von operativen digitalen Bestandsmodellen.
- Entwicklung und Demonstration von Methoden für das Versionsmanagement und die Dokumentation von Modelländerungen im Gebäudebetrieb (nachvollziehbare Versionierung der Modelle bei kontinuierlicher Veränderung/Anpassung).
- Entwicklung und Demonstration von Methoden und Prozessen zur Erstellung und Anwendung von BIM-Modellen für Bestandbauten.
- Weiterentwicklung offener BIM-Formate hinsichtlich der Abbildung und Ableitung von 2D-Plandaten, welche den Anforderungen im FM und in der Betriebsführung entsprechen (z.B. Darstellung, Bemaßung, Bauteilinformationen etc.).
- Durchgängige Nutzung von CDE bis in das FM (Common Data Environment, welches die Daten von Beginn des Bauprojekts weg in offenen Datenformaten enthält).
- Entwicklung leistungsfähiger Methoden für die Indoor-Navigation.
- Weiterentwicklung und Demonstration von Verfahren zur Fernwartung und automatisierten Fault-Detection von technischen Anlagen. Verschränkung von as-built-Daten mit Monitoring-Daten und Nutzung von VR- und AR-Technologien in der Betriebsführung.

- Demonstration von Best-Practices, die einen sicheren und praktikablen Umgang mit Modelldaten in Bezug auf Veränderungen durch Betreibende und zukünftige Planer im Kontext aktueller Datenschutzthematiken aufzeigen.

## **6.2. Zielgruppen und erforderliche Kompetenzen**

### **Zielgruppen**

Die heterogene Ausrichtung und Ausprägung der untersuchten Use-Case-Ketten führen zu unterschiedlichen Zielgruppen. Während Use-Case-Ketten wie asBuilt2Work oder open.fab mehrere Phasen bzw. Gewerke abdecken und damit viele Beteiligte bzw. die gesamte Branche von der Use-Case-Kette profitieren könnte, richten sich die Ketten BTWIN sowie enEff an kleinere Stakeholderkreise. In Kapitel 5 erfolgt eine detaillierte Ausführung zu den jeweiligen Use-Case-Ketten.

### **Kompetenzen**

Aufgrund der unterschiedlichen Ausgestaltungen und Zeiträume in der Abwicklung der einzelnen Use-Case-Ketten sind die Anforderungen an die Beteiligten sehr unterschiedlich. Generell kann durch die Eingrenzung der Use-Case-Ketten auf einzelne Gewerke oder Phasen die Komplexität reduziert werden. In Abbildung 10 ist noch einmal ein zusammenfassender Überblick notwendiger Kompetenzen für alle Use-Case-Ketten gegeben.

Abbildung 10: Zusammenfassende Kompetenzübersicht für alle Use-Case-Ketten

Erforderliche Kompetenzen je Projektphase je Use-Case-Kette	Projektabschnitte																
	Vorbereitung	Vorentwurf	Entwurf	Einreichplanung	Ausführungsplanung	Ausschreibung	Vergabe	W/Montage planung	Ausführung (BAU)	Übernahme (Betreiber)	Betrieb (FM)	Umbau	Rückbau	Wiederverwendung	Entsorgung/Recycling		
<b>asBuilt2Work</b>																	
AG/Nutzende	++	+	o	+	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	o		
Planende	+	+	++	+	++	++	+		++		+	++	o				
Aufsicht								+	++	++							
Ausführende							+	++	++								
<b>BTWIN</b>																	
AG/Nutzende									+	++	++						
Planende								o	o	o							
Aufsicht																	
Ausführende								+	+	+	++	+					
<b>enEff</b>																	
AG/Nutzende	++	o	o	+	++	o	o	+	+	++	++						
Planende	++	+	++	+	++	+	o	++	+	++							
Aufsicht								+	++	++							
Ausführende							+	++	++								
<b>open.fab</b>																	
AG/Nutzende	o				+	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o		
Planende	+	o	o	o	++	+	o	+	+	o	++	+	++	o			
Aufsicht									+			+	o	+			
Ausführende										++	++	++	o	++	+	++	+
<b>smart.tag</b>																	
AG/Nutzende	++	o	o	o	o	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
Planende	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+		+			
Aufsicht									+	+				+			
Ausführende									+	+	+		+	+	+		

**Digitale Kompetenzen (insbesondere BIM)**

hohe Kompetenz erf.	++
erforderlich	+
erwünscht	o

### 6.3. Generelle Herausforderungen und rechtliche Aspekte bei der Umsetzung der Use-Case-Ketten

Die relevantesten Herausforderungen der sehr unterschiedlichen Use-Case-Ketten wurden in folgende Themen gruppiert und sind nachfolgend zusammenfassend erläutert:

- Vergabeverfahren und Datendurchgängigkeit
- Austausch-Informationsanforderungen und BIM-Abwicklungsplan
- Gemeinsame Haftungen
- Sandbox - Projektumgebung
- Datenschutz

### **6.3.1. Vergabeverfahren und Datendurchgängigkeit**

Ein Ziel ist die Weitergabe und Weiternutzung von Modellen von der Planung in die Ausführung und von der Ausführung in den Gebäudebetrieb bis hin zum Rückbau. Bei Bauprojekten haben die Vergabeverfahren und die Vertragsgestaltung einen großen Einfluss auf die Projektkultur und damit auch auf die Umsetzung von Datendurchgängigkeit. Um dem digitalen Zwilling eine hohe Priorität einzuräumen gilt es darauf zu achten, dass eine partnerschaftliche Arbeitsweise und Projektkultur gefördert werden, die bei erfolgreicher Umsetzung generell einen großen Mehrwert für alle Projektbeteiligten liefert. Entsprechende Modelle sind verfügbar, müssen aber noch stärker in der Praxis Anwendung finden.

Es müssen vertragliche Voraussetzungen geschaffen werden, die eine Datenweitergabe bzw. die Weiterverwendung von Modellen und Daten fördern. Beabsichtigte Arbeitsweisen und Work-Flows hinsichtlich der Datenweitergabe sind unbedingt vor Projektstart zu klären und in Demonstrationsprojekten zu untersuchen und zu evaluieren.

Aktuelle rechtliche Rahmenbedingungen (z.B. das Bundesvergabegesetz) stehen in keinem Widerspruch zu innovativen Lösungen, wie Interviewergebnisse des Projekts zeigen. Eine Abkehr von etablierten Claimingmodellen ist denkbar. Durch partnerschaftliche Modelle wäre ein Paradigmenwechsel in der Baubranche möglich, bei dem Kosteneffizienz, Qualität und Transparenz im Vordergrund stehen.

### **6.3.2. Austausch-Informationsanforderungen und BIM-Abwicklungsplan**

Austausch-Informationsanforderungen (AIA) und BIM-Abwicklungsplansind (BAP) sind entscheidend für den Projekterfolg. Sie bilden eine Grundlage, in der Ziele definiert und gewählte Strategien zur Erreichung dieser festgehalten werden. Die Einstellung, es handle sich dabei um ein „lebendes Dokument“ ist kritisch zu hinterfragen, da beides Teil des Vertrages und Grundlage für das Angebot sind. Einseitige Änderungen sind ohne Zustimmung aller Vertragsparteien nicht möglich. Eine Vergütung von Änderungen ist in einem partnerschaftlichen Vertragsmodell anzustreben. Generell sollten entsprechende Leistungen transparent abgebildet werden und möglichst alle Unklarheiten ausgeräumt sein. Es gilt die bestmögliche Ausführung anzustreben im Bewusstsein der entsprechenden Kosten. Vage Formulierungen sind bei der Umsetzung komplexer Sachverhalte im Rahmen des Leuchtturmprojekts problematisch, die Demonstration von digitalen Zwillingen und der damit verbundenen Datendurchgängigkeit muss oberste Priorität sein.

### **6.3.3. Gemeinsame Haftungen**

Sämtliche Use-Case-Ketten haben die Überwindung von Schnittstellenproblemen in unterschiedlichen Fragestellungen gemein. Bei einer Demonstration in einem Leuchtturmprojekt wird von unterschiedlichen Auftragnehmenden auf Vorleistungen anderer Auftragnehmenden aufgebaut. Fehler können dabei beispielsweise durch fehlerhafte Importvorgänge verursacht werden. Es gilt abzuklären, in welcher Form in Abhängigkeit des gewählten Vertragsmodells welche Beteiligten für Fehler haftbar sind und wie Verantwortlichkeiten festgestellt werden. Alternativ sind Haftungsmodelle anzudenken, in denen dem Team beispielsweise in Form einer Projektgesellschaft in der Gesamtheit die Haftung übertragen wird und partnerschaftlich an einer Lösung gearbeitet wird.

### **6.3.4. Sandbox - Projektumgebung**

Durch die Abweichungen von etablierten Prozessen als auch der Überschneidung traditioneller Leistungsbilder ist in der Projektvorbereitung das Erfordernis eines sogenannten Sandbox-Projekts abzuklären. Dabei würde ein Raum für Innovationen geschaffen, um z.B. öffentlichen Auftraggebern einen größeren Spielraum für innovative Lösungsansätze zu geben. Problematisch könnte dabei hohe Anforderungen sein, die zu einer „Einschränkung“ des Bieterkreises führen. Dies gilt es vorab mit Auftraggebern bzw. Gesetzgebern abzuklären.

### **6.3.5. Datenschutz**

Beim Austausch und speziell bei der zentralen Speicherung von Daten in einem digitalen Zwilling ist Datenschutz ein essentielles Thema. Der Schutz von persönlichen Daten und entsprechende digitale Maßnahmen ist eine Grundvoraussetzung für einen digitalen Zwilling. Allerdings ist auch der Schutz von Daten nicht-natürlicher Personen vor missbräuchlicher Verwendung ein wichtiges Thema für die Resilienz und den wirtschaftlichen Erfolg eines digitalen Zwillings.

Abhängig von der Phase im Lebenszyklus eines Gebäudes gibt es unterschiedliche Arten von sensiblen Daten. Während in der Planungs- und Errichtungsphase vor allem wirtschaftliche Interessen gefährdet sind, kommen während der Betriebsphase personenbezogene Daten hinzu. Aus wirtschaftlicher Sicht besonders schützenswert sind Engineering-Daten, grundlegende Daten für Berechnungen und Auslegungen sowie finanzielle Daten (Kosten, Angebotsdaten etc.). Während der Betriebsphase haben Daten von technischen Systemen, aus denen das Verhalten des Systems sowie die Funktion von Regelungsalgorithmen abgeleitet werden, einen hohen Schutzbedarf.

Einen direkten persönlichen Bezug haben Daten die Personen oder deren Verhalten direkt identifizieren. Dazu gehören vor allem Audio- und Videoaufnahmen die neben Sicherheitsapplikationen für die intelligente Steuerung und Planung von Raumbelagungen verwendet werden. Nicht zu vernachlässigen sind auch Messdaten aus den Räumen wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit und CO<sub>2</sub>. Wenn a priori eine zeitliche und örtliche Zuordnung von Personen möglich ist (z.B. am Arbeitsplatz), so kann aus den genannten Messwerten auf tatsächliche Anwesenheit oder Verhaltensmuster geschlossen werden. Es werden daher entsprechende Datenschutzmaßnahmen benötigt, um einen Schutz der Privatsphäre der betroffenen Personen sicherzustellen.

## **6.4. Verwertungspotential**

Bei der Erarbeitung der Use-Case-Ketten wurde durch Einbeziehung von Stakeholdern vor allem deren Umsetzbarkeit sowie der zu erwartende Nutzen evaluiert. Das erhaltene Stakeholder-Feedback zeigt, dass die entwickelten Use-Case-Ketten ein hohes technologisches und wirtschaftliches Potential aufweisen und deren Entwicklung und Demonstration in einem Folgeprojekt plausibel, machbar und zielführend ist. Das Verwertungspotential der Projektergebnisse in Hinblick auf Folgeprojekte kann daher als sehr hoch eingeschätzt werden. Voraussetzung ist, dass seitens Fördergebern entsprechende Rahmenbedingungen durch geeignete Ausschreibungen geschaffen werden. Entsprechende Empfehlungen dafür sind im nachfolgenden Kapitel 7 gegeben. Insbesondere wäre es zielführend, ein Leuchtturmprojekt zur Demonstration des Potentials digitaler Gebäudezwillinge in der praktischen Anwendung durchzuführen, um mittels Best-Practice-Beispielen

die bereitere Anwendung dieses vielversprechenden Ansatzes in der Bau- und Immobilienwirtschaft voranzubringen. Das Projektteam ist bestrebt, weitere Aktivitäten und Schritte in Richtung eines solchen Leuchtturmprojekts zu setzen. Die erzielten Ergebnisse dieses Sondierungsprojekts dienen dazu als Basis. Bereits im Rahmen dieser Sondierung wurden erste Schritte in Richtung eines etwaigen Folgeprojekts gesetzt.

Zunächst wurde durch Einbeziehung in den Stakeholder-Prozess ein Netzwerk mit Unternehmen gebildet, welche die notwendige Erfahrung und das Know-how haben, in einem Folgeprojekt als Industriepartner fungieren zu können und reale Bauprojekte als Demonstratoren einbringen zu können. Eine wesentliche Grundlage für ein Folgeprojekt bilden die im Rahmen des Sondierungsprojekts ausgearbeiteten Use-Case-Ketten sowie die Roadmap. Der Detaillierungsgrad, in dem die Use-Case-Ketten ausgearbeitet wurden, ermöglicht es, dass diese unmittelbar zum Aufsetzen eines Folgeprojekts herangezogen werden können. Bei der Ausarbeitung der Use-Case-Ketten wurde insbesondere auf deren Umsetzbarkeit geachtet. Dazu wurden im Rahmen des Stakeholderprozesses unter anderem die Erwartungshaltung hinsichtlich der Umsetzung, die zu erwartenden positiven Effekte und Potentiale in der Bauwirtschaft und im eigenen Unternehmen (z.B. wirtschaftliche Vorteile), zu erwartende Schwierigkeiten und Herausforderungen sowie die Rolle des Stakeholders in einem Folgeprojekt erhoben. Die ins Netzwerk eingebundenen Stakeholder äußerten Bedarf und Interesse an einer Umsetzung im Rahmen eines Folgeprojekts.

Die Roadmap dient als Werkzeug zur Priorisierung und Koordination zukünftiger Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsprojekte. Sie zeigt, dass die Aufgaben innerhalb und zwischen den Forschungsschwerpunkten aufeinander aufbauen, was die Wichtigkeit der integrierten und koordinierten Vorgehensweise unterstreicht, und dient als Basis für Folgeaktivitäten.

Die Ergebnisse dieses Sondierungsprojekts heben die Bedeutung der Weiterentwicklung und Verbreitung von digitalen Werkzeugen und Konzepten in der Bau- und Immobilienwirtschaft hervor und betonen die Notwendigkeit, praktische Anwendungen und Demonstrationsprojekte zu fördern, um das volle Potenzial dieser Technologien auszuschöpfen.

# 7 Ausblick und Empfehlungen

## 7.1. Empfehlungen für weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten

Digitale Methoden im Allgemeinen und das Konzept des digitalen Zwillings im Speziellen sind wichtige Werkzeuge zur Entwicklung leistungsfähiger nachhaltiger Infrastrukturen und Produkte. In der Bau- und Immobilienwirtschaft ist die Nutzung der Möglichkeiten dieser digitalen Werkzeuge im Vergleich zu anderen Industriesegmenten noch vergleichsweise schwach ausgeprägt. Zwar wurde das Konzept digitaler Zwillinge auf Gebäude- und Quartiersebene bereits in mehreren F&E-Projekten adressiert, eine durchschlagende Überführung dieses Konzepts in der praktischen Anwendung hat bis dato jedoch noch nicht stattgefunden. Damit bleiben wichtige Möglichkeiten und Potentiale zur breiten praktischen Realisierung ökologisch und ökonomisch optimierter zukunftsfähiger Gebäude ungenutzt.

Einer der Hauptgründe, welcher im Rahmen dieses Sondierungsprojekts identifiziert werden konnte, besteht darin, dass der Nutzen einer durchgängigen Anwendung digitaler Gebäudemodelle und digitaler Zwillinge für die Projektakteure in der Praxis nicht ersichtlich ist. Der Aufwand für die Erstellung und Pflege der digitalen Modelle wird im Vergleich zum erzielbaren Nutzen momentan als zu groß bewertet. Hinzu kommt, dass jene Projektakteure, welche einen digitalen Zwilling zu erstellen haben, mitunter nicht jene sind, die in weiterer Folge den Nutzen aus der Anwendung tragen. Zwar wird das grundlegende Potential gesehen und anerkannt, aber es fehlt an Erfahrung sowie belastbaren Referenzprojekten und Best-Practice-Beispielen. Daher bleiben Investitionen im Projektverlauf in die Erstellung leistungsfähiger digitaler Gebäudemodelle und digitaler Zwillinge in der Praxis in der Regel aus.

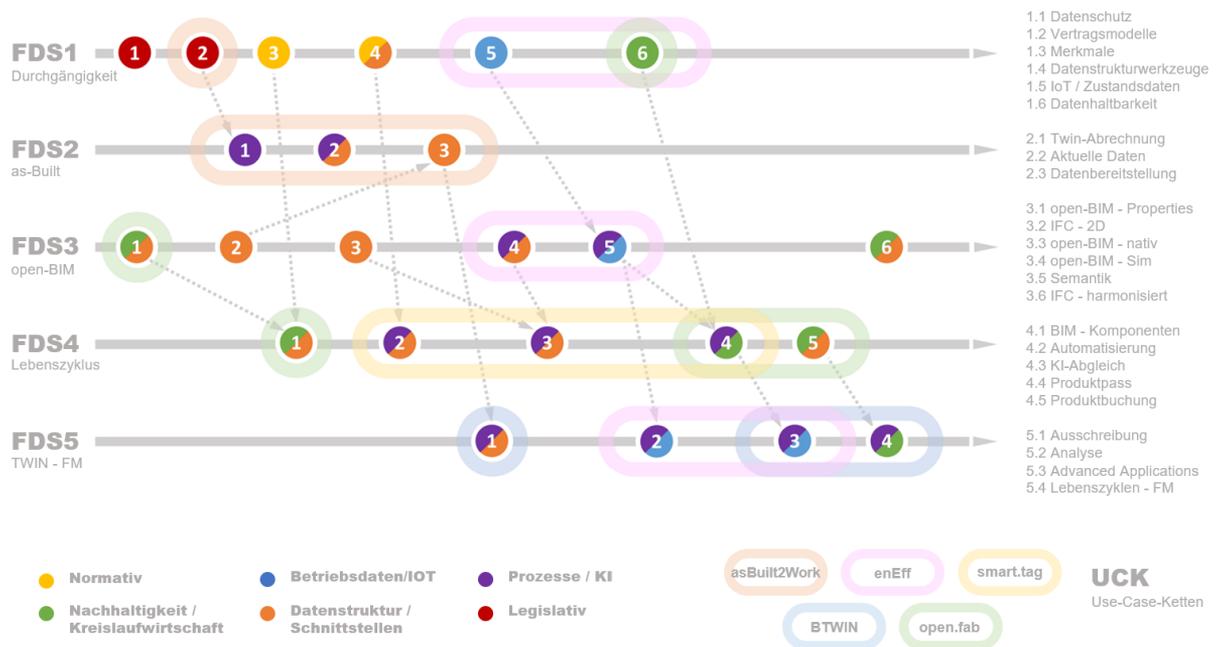
Ein Ansatz diesem Hemmnis entgegenzuwirken ist die Erarbeitung aufeinander aufbauender und ineinandergreifender Anwendungsfälle für digitale Gebäudemodelle (Use-Case-Ketten), die entlang der Lebenszyklusphasen des Gebäudes und der Wertschöpfungskette mehrfachen Nutzen für mehrere am Projekt beteiligte Stakeholder bringen. Daher wurden im Rahmen dieses Sondierungsprojekts fünf Use-Case-Ketten ausgearbeitet, bei denen die Erstellung und durchgängige Anwendung eines digitalen Gebäudezwillings diesen hohen Nutzen erwarten lässt.

Die ausgearbeiteten Use-Case-Ketten zeigen, dass übergeordnete Innovationsfelder mit Querschnittscharakter identifizierbar sind, welche von grundlegender Bedeutung für die Etablierung einer durchgängigen Modellnutzung sowie von digitalen Zwillingen in der praktischen Anwendung sind. Darum wurden auf Basis der entwickelten Use-Case-Ketten übergeordnete Forschungs- und Demonstrationsschwerpunkte (FDS) abgeleitet und in einer Roadmap dargestellt. Die Roadmap und die ihr zugrunde gelegten Forschungs- und Demonstrationsschwerpunkte sowie daraus ableitbare Handlungsempfehlungen für weiterführende Forschungs- und Demonstrationsprojekte sind in den folgenden Abschnitten dargestellt.

### 7.1.1. Roadmap

Aus den in diesem Sondierungsprojekt ausgearbeiteten und in Kapitel 5 beschriebenen Use-Case-Ketten wurden fünf Forschungs- und Demonstrationsschwerpunkte (FDS) abgeleitet. Für jeden Schwerpunkt wurden Forschungs-, Entwicklungs-, und Demonstrationaufgaben (FE&D-Aufgaben) formuliert und in einer Roadmap dargestellt (Abbildung 11). Zusammen mit den in Abschnitt 6.1 dargestellten Forschungsfragen für die fünf Use-Case-Ketten bilden sie einen Kanon von zu bearbeitenden Themenstellungen im Zuge zukünftiger Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsprojekte.

Abbildung 11: Roadmap Digital Twin



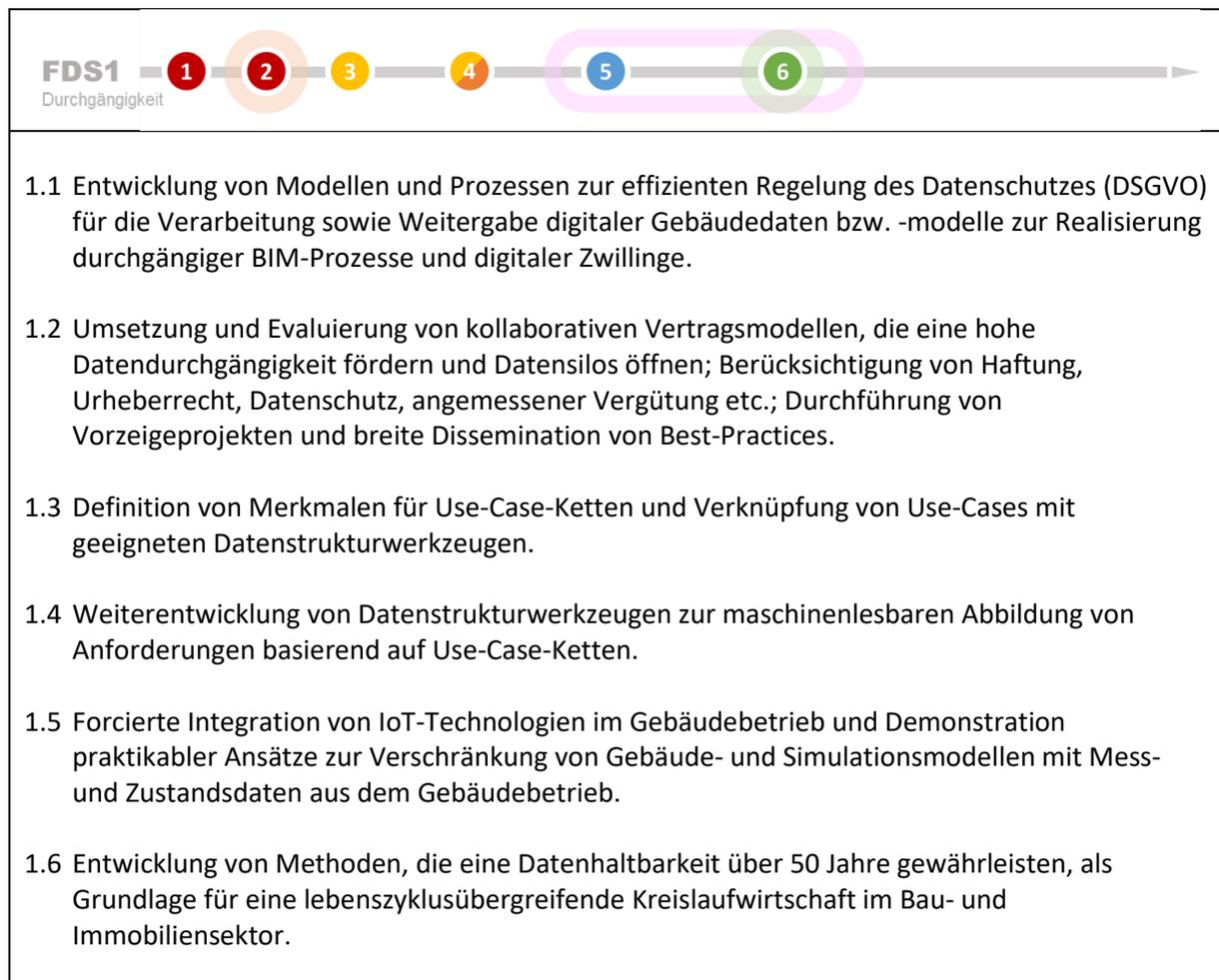
Die Roadmap zeigt die fünf Forschungs- und Demonstrationsschwerpunkte als Zeitachsen, entlang der in chronologischer Folge die den Schwerpunkten zugeordneten FE&D-Aufgaben angeordnet und zur Identifikation mit einer Nummer versehen sind. Die genaue Beschreibung der FE&D-Aufgaben findet sich im nachfolgenden Abschnitt 7.1.2. Jede FE&D-Aufgabe ist mit einer Farbe codiert, anhand der sich die thematische Ausrichtung der Aufgabe ablesen lässt. Zudem ist in der Roadmap dargestellt, für welche Use-Case-Ketten die dargestellten FE&D-Aufgaben relevant sind. Abhängigkeiten zwischen FE&D-Aufgaben unterschiedlicher Forschungs- und Demonstrationsschwerpunkte sind als gerichtete Pfeile eingezeichnet. Es ist erkennbar, dass die Aufgaben nicht nur innerhalb eines Schwerpunkts aufeinander aufbauen, sondern auch zwischen den Forschungs- und Demonstrationsschwerpunkten. Dies zeigt die Verschränkung der Bereiche. Entwicklungen in einem Forschungs- und Demonstrationsschwerpunkt sind auch in anderen von Relevanz. Daher sollte die Bearbeitung der FE&D-Aufgaben entsprechend der in der Roadmap dargestellten Abfolge erfolgen. Die Roadmap stellt somit ein Werkzeug zur Priorisierung und Einordnung zukünftiger Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsprojekte dar.

### 7.1.2. Forschungs- und Demonstrationsschwerpunkte (FDS)

Nachfolgend sind die fünf Forschungs- und Demonstrationsschwerpunkte der Roadmap beschrieben. Für jeden Schwerpunkt sind die zugrunde liegenden FE&D-Aufgaben angeführt und erläutert. Die Nummerierung der FE&D-Aufgaben erfolgt gemäß dem folgenden System: Die erste Ziffer vor dem Punkt bezeichnet den Forschungs- und Demonstrationsschwerpunkt und die zweite Ziffer die FE&D-Aufgabe im betrachteten Schwerpunkt. Letztere Ziffer korrespondiert mit der Ziffer im jeweiligen Knoten des FE&D-Schwerpunkts in der Roadmap (Abbildung 11).

#### FDS 1: Digitale Werkzeuge und Prozesse zur Realisierung von Datendurchgängigkeit

Abbildung 12: FDS 1 - Digitale Werkzeuge und Prozesse zur Realisierung von Datendurchgängigkeit



Die Regelung des Datenschutzes ist eine Grundvoraussetzung für die Etablierung von datendurchgängigen und leistungsfähigen digitalen Zwillingen. Neben dem Schutz personenbezogener Daten (z.B. im Kontext der Verarbeitung von Nutzerdaten) ist auch der Schutz von Daten nicht-natürlicher Personen vor missbräuchlicher Verwendung ein wesentliches Thema für die Resilienz und den wirtschaftlichen Erfolg digitaler Zwillinge. Es gilt Prozesse zu entwickeln und zu

demonstrieren, die universell für möglichst viele Bauprojekte über möglichst alle Projektphasen anwendbar sind und bestehende Unsicherheiten sowie Hemmnisse abbauen.

In Bauprojekten haben die Vergabeverfahren einen großen Einfluss auf die Projektkultur und damit auf die Datendurchgängigkeit. Um dem digitalen Zwilling eine hohe Priorität einzuräumen, gilt es Verfahren zu demonstrieren, bei denen eine partnerschaftliche Arbeitsweise Priorität hat und die gewährleisten, dass bei erfolgreicher Zusammenarbeit ein Mehrwert für die Beteiligten entsteht. Es müssen vertragliche Voraussetzungen geschaffen werden, um eine Datenweitergabe und Weiterverwendung zu fördern. Es braucht klare Regelungen, in welcher Form in Abhängigkeit des gewählten Vertragsmodells welche Beteiligten für Fehler haftbar sind und wie Verantwortlichkeiten festgestellt werden. Zum Beispiel können Haftungsmodelle angedacht werden, in denen dem Team gesamtheitlich die Haftung übertragen wird und partnerschaftlich an einer Lösung gearbeitet wird. Ebenfalls zu klären sind urheberrechtliche Fragestellungen. Durch partnerschaftliche Modelle ist ein Paradigmenwechsel in der Baubranche möglich, bei dem Effizienz, Qualität und Transparenz im Vordergrund stehen.

Eine wesentliche Grundvoraussetzung für Datendurchgängigkeit sind wohldefinierte Metadaten in digitalen Gebäudemodellen in Form von Merkmalen (Properties). Diese Merkmale gilt es in maschinenverarbeitbarer Form in Datenstrukturwerkzeugen abzubilden und mit Use-Cases und Use-Case-Ketten zu verbinden. In den letzten Jahren wurden bereits umfassende Aktivitäten in diesem Bereich in Österreich gestartet (z.B. über buildingSMART Austria und im Rahmen der österreichischen Normungsarbeit). Diesen Weg gilt es konsequent fortzusetzen.

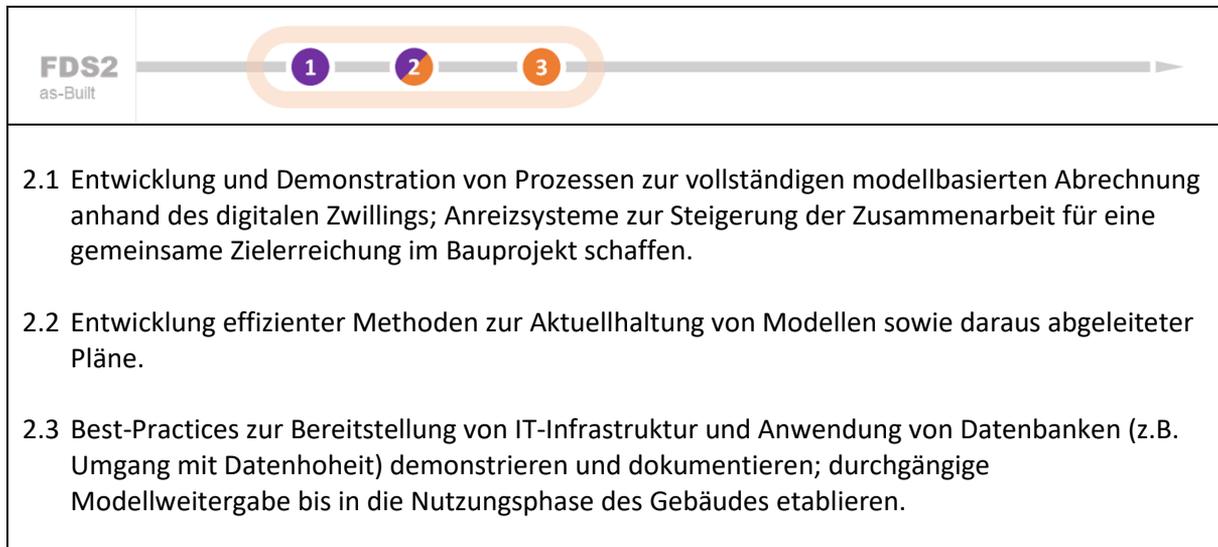
In diesem Zusammenhang ist die Weiterentwicklung von Datenstrukturwerkzeugen ein wichtiger Schritt. Hier ist vor allem die Abbildung funktionaler Anforderungen mit geeigneten semantischen Modellen ein wichtiger Forschungsbereich (z.B. die Abbildung der Funktion von Steuerungen und Regelungen von Anlagen). Diese Anforderungen sind basierend auf Use-Case-Ketten zu definieren. Es gilt geeignete Datenmodelle zu entwickeln und Datenstrukturwerkzeuge entsprechend zu erweitern.

Die konsequente Verschränkung von Gebäude- und Simulationsmodellen mit Mess- und Zustandsdaten von Gebäuden ist ein integraler Bestandteil einer vollumfänglichen Datendurchgängigkeit. In diesem Zusammenhang werden IoT-Technologien zur Zustandserfassung eine Schlüsselrolle spielen. Eine solche Verschränkung ermöglicht umfassende Optimierungen im Verlauf eines Bauprojekts, beginnend von Bauablaufoptimierungen auf der Baustelle bis hin zum optimierten und vorausschauenden Betrieb des Gebäudes.

Die Entwicklung von Verfahren zur Sicherstellung der Datenhaltbarkeit über viele Jahrzehnte hinweg ist eine hoch relevante Thematik. Sie ist z.B. eine Grundvoraussetzung für die Etablierung einer lebenszyklusübergreifenden Kreislaufwirtschaft.

## FDS 2: Bauablaufintegrierte Erstellung von as-Built-Modellen

Abbildung 13: FDS 2 - Bauablaufintegrierte Erstellung von as-Built-Modellen



Die Verfügbarkeit eines phasendurchgängigen realitätskonformen as-Built-Modells ist Grundlage für die lebenszyklusbegleitende Anwendung digitaler Gebäudezwillinge. Es gilt das immer wieder auftretende qualitative und quantitative Lieferproblem der baurealitätskonformen Bestandsdokumentation von Bauwerken, die besonders für den effizienten Gebäudebetrieb essentiell ist, zu adressieren. Durch unterschiedliche Interessenlagen sind in verschiedenen Lebenszyklus- und Planungsphasen nicht unbedingt die Modellerstellenden die Nutznießenden des Modells bzw. der gepflegten Daten. Neben Anpassungen im Honorargefüge, wonach die Erstellung und Aktualhaltung von Modelldaten nach später generierbaren Mehrwerten abgegolten wird, gilt es Wege zu finden, die ein realitätskonformes as-Built-Modell, aufbauend auf Planungsmodellen, ermöglichen. Anreizsysteme zur Steigerung der Zusammenarbeit und zur Schaffung einer kooperativen Projektkultur und Projektabwicklung sind daher essentiell.

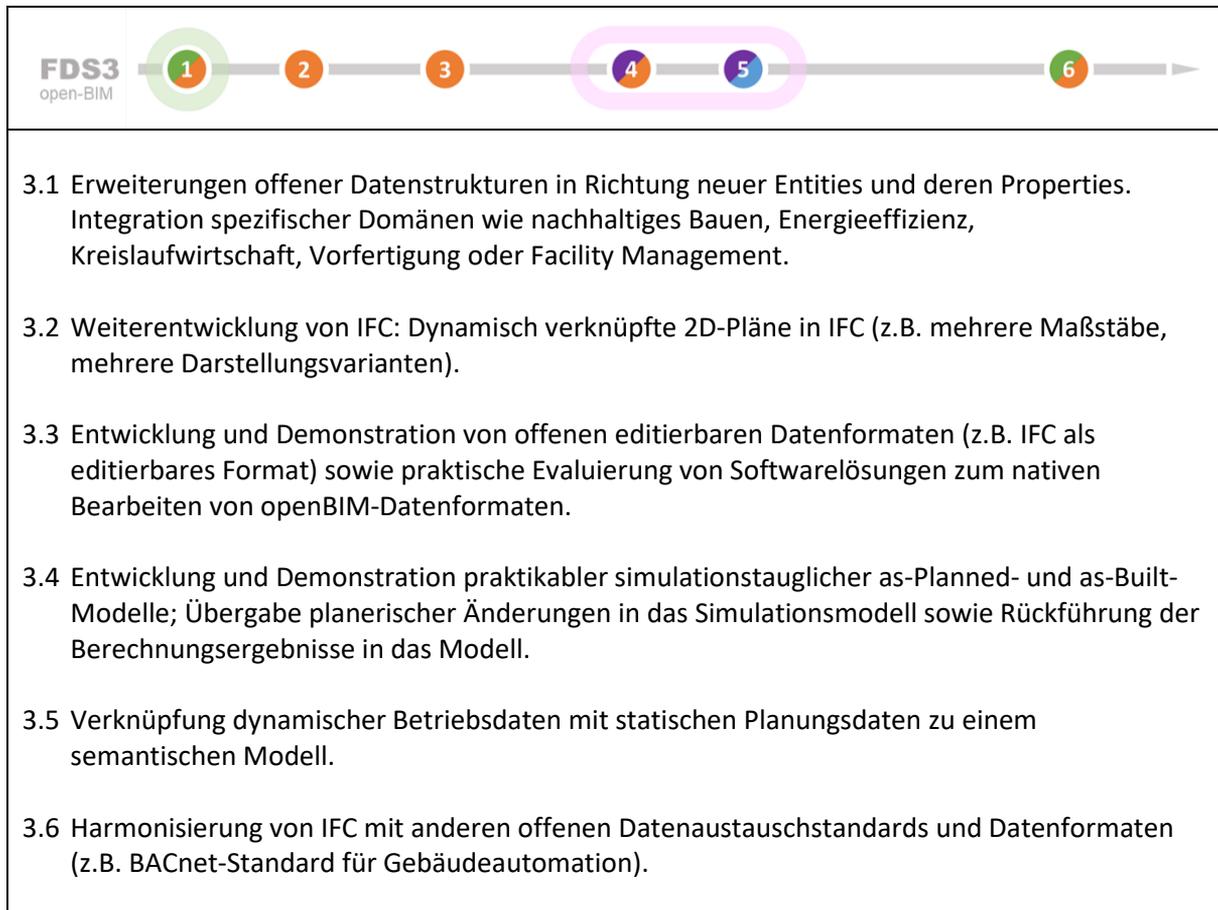
Die konforme Abbildung der gebauten Realität im digitalen Gebäudezwilling ist eine Grundvoraussetzung für die erfolgreiche Anwendung dieses Ansatzes. Es ist daher notwendig, dass die Erstellung von as-Built-Modellen ein integraler und selbstverständlicher Bestandteil im Bauablauf wird und die regelmäßige Fortschreibung und Anpassung der digitalen Modelle sichergestellt ist. Einen vielversprechenden Ansatz stellt in diesem Zusammenhang die modellbasierte Abrechnung anhand von Abrechnungsteilmodellen aus dem digitalen Zwilling dar. Die erfolgreiche Demonstration dieses Ansatzes kann ein wesentlicher Schritt zur praktischen Etablierung digitaler Zwillinge sein.

Eine große Herausforderung stellt die Aktualhaltung der Modelle und daraus abgeleiteter Pläne in einzelnen Projektphasen sowie über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes dar, z.B. aufgrund von Änderungswünschen während der Ausführung, Umbauten, Erweiterungen etc. Dafür gilt es geeignete Methoden und Prozesse zu entwickeln sowie Best-Practices hinsichtlich der Implementierung dafür notwendiger informationstechnischer Voraussetzungen zu demonstrieren.

Letztlich besteht das Ziel darin, im Zuge der Bauausführung geeignete as-Built-Modelle zu erstellen, welche nahtlos in die Betriebsphase übergeführt und dort angewendet und aktuell gehalten werden.

## FDS 3: Weiterentwicklung von openBIM-Datenformaten

Abbildung 14: FDS 3 - Weiterentwicklung von openBIM-Datenformaten



IFC ist der zentrale openBIM Standard und als solches wesentlich für den Erfolg von phasen- und disziplinenübergreifender Zusammenarbeit verantwortlich. Erweiterungen der Datenstruktur in Richtung neuer Entities und deren Properties ermöglichen eine umfassendere und detailliertere Modellierung von Bauwerken. Dies kann beispielsweise die Integration spezifischer Domänen wie nachhaltiges Bauen, Energieeffizienz oder Facility Management umfassen. Neben der internationalen Entwicklung von IFC können aber auch nationale Erweiterungen implementiert werden. Das ist erforderlich für Prozesse wie z.B. die Baueinreichung oder AVA (Ausschreibung, Vergabe und Abrechnung), die länderspezifisch sind.

Neben der Datenmodellierung sind Weiterentwicklungen in Richtung Standardisierung von Prozessen und Workflows notwendig, beispielsweise die Definition von Empfehlungen, Leitfäden oder Best-Practices für spezifische Anwendungsfälle, wie die Integration von Energieeffizienz und Nachhaltigkeit in openBIM.

Es zeichnet sich auch ab, dass IFC sich in Richtung eines editierbaren Formats entwickelt. Diesen Ansatz gilt es voranzutreiben und die Praxistauglichkeit der Innovationsansätze zu demonstrieren.

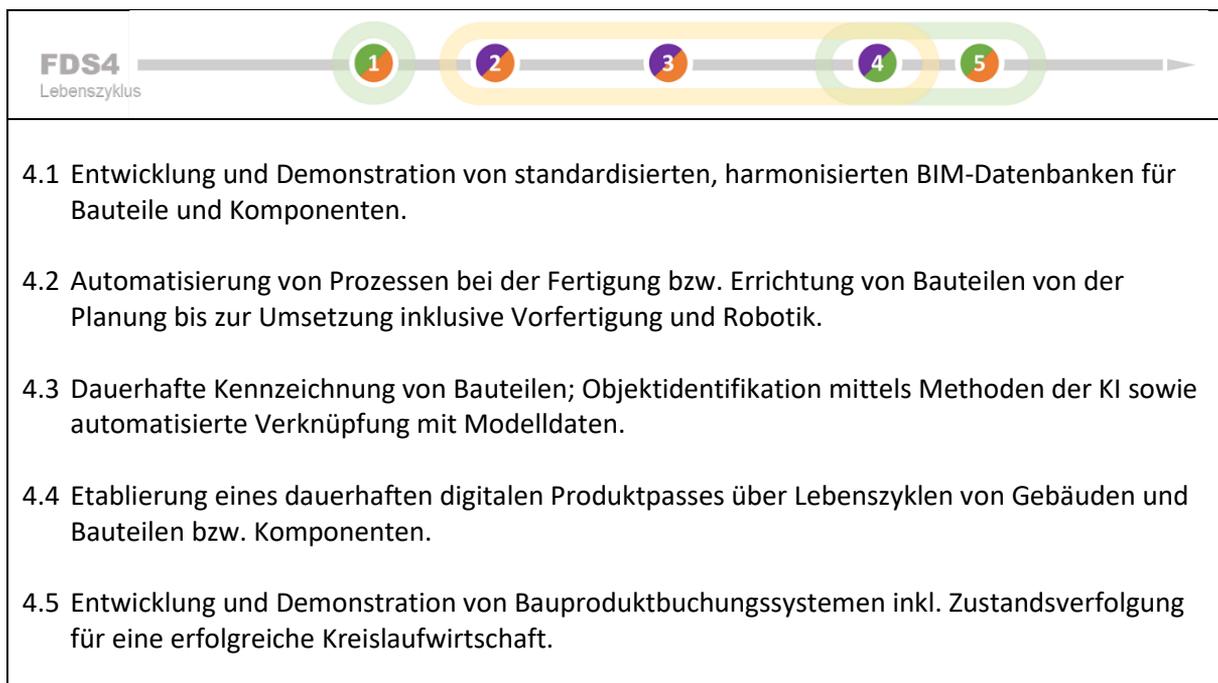
Aus Nutzerperspektive braucht es eine leicht zugängliche Software-Umsetzung für die verschiedenen Akteure in der Baubranche. Neben Innovationen in der Software inkludiert dies auch die Entwicklung

von Schulungen, die Verbesserung des Software-Supports und die Förderung der Interoperabilität, etwa durch die Weiterentwicklung des buildingSMART Data Dictionary (bSDD), das nach einigen Überarbeitungen nun erweiterte Möglichkeiten zur Inhaltsverwaltung bietet und ein Mapping zwischen verschiedenen Institutionen ermöglicht.

Die Integration und Harmonisierung von IFC mit anderen Datenaustauschstandards und -formaten kann den nahtlosen Austausch von Informationen zwischen verschiedenen Softwareanwendungen erleichtern. Angelagerte Standards sind etwa CityGML für städtische Modelle oder die Integration von Geodaten in IFC-Modelle. Ebenso ist eine Abstimmung mit etablierten Standards für Produkte und Service oder für Baustoffklassifizierungen hilfreich, um Lücken in der digitalen Wertschöpfungskette zu schließen.

#### **FDS 4: Lebenszyklusorientiertes Management von Bauprodukten und Bauteilen**

Abbildung 15: FDS 4 - Lebenszyklusorientiertes Management von Bauprodukten und Bauteilen



Die Baubranche weist aktuell einen großen CO<sub>2</sub>-Fußabdruck auf. Ein möglicher Ansatz für eine Verminderung dieses Fußabdrucks ist die Wiederverwendung von Bauteilen. Bestehende Baukastensysteme wie in der TGA oder im Bereich der Fertigbauteile bieten sich für eine Demonstration und langfristige Etablierung einer Kreislaufwirtschaft in der gesamten Branche an.

Damit verbaute Elemente einer effizienten und möglichst umfassenden Kreislaufwirtschaft zugeführt werden können, ist ein Paradigmenwechsel erforderlich. Prozesse müssen im Rahmen der Fertigung und Wiederverwendbarkeit phasenübergreifend über mehrere Lebenszyklen von Gebäuden betrachtet werden.

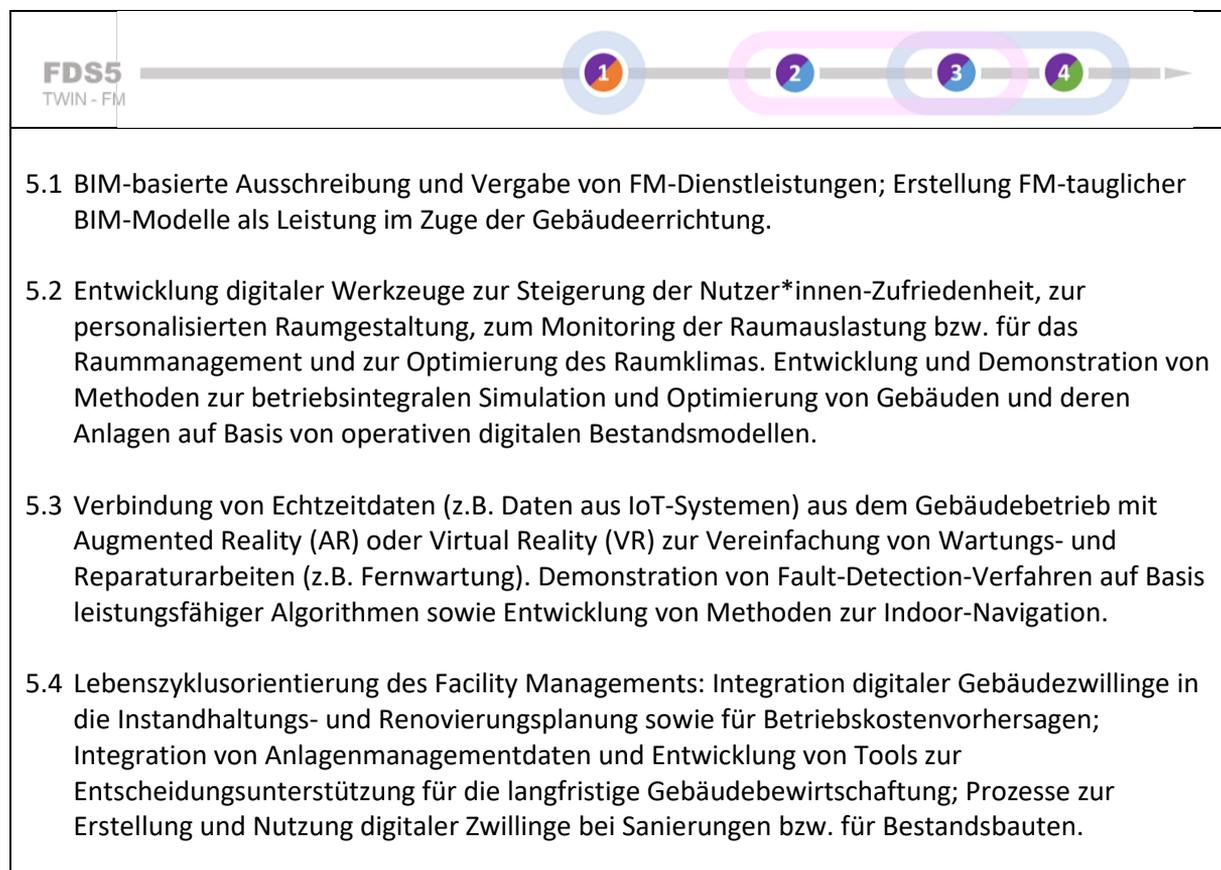
Es ist essentiell, hergestellte Bauelemente und die zugehörigen Informationen über sehr lange Zeiträume über einen Produktpass sicher identifizieren und in offenen Datenformaten übergeben zu können. Eine Möglichkeit dies sicherzustellen ist die Fertigung basierend auf offenen BIM-Datenformaten. Eine automatisierte Fertigung führt zu schnelleren Bauzeiten, einer höheren Ausführungsqualität auf den Baustellen, geringerem Abfall und ermöglicht, bei durchgängiger Identifikation sowohl die Logistik als auch den Einbau auf der Baustelle anhand von openBIM-Daten durchzuführen, zu optimieren und zu dokumentieren.

Durch Vernetzung mit bestehenden Planungsinformationen werden Brüche in der digitalen Gebäudemodellierung und as-Built-Modellerstellung überwunden. In Kombination mit alternativen Ansätzen zur as-Built-Modellerstellung bildet sich die Baustelle „selbstständig“ in der virtuellen Umgebung des digitalen Zwillings ab. Dafür sind leistungsfähige Methoden zur Objektidentifikation mittels Methoden der KI erforderlich.

Ziel ist ein projektübergreifendes Bauteilmanagement vom ersten Planungsgedanken über den Abbruch des Gebäudes bis zur anschließenden Wiederverwendung. In Kombination mit länderübergreifenden Buchungssystemen, welche die Lebensdauer von Gebäuden und die wahrscheinliche Rückführung in den Bauproduktkreislauf berücksichtigen, ist eine umfangreiche Wiederverwendung nach Aufbereitung möglich.

## FDS 5: Twin-basiertes Facility Management

Abbildung 16: FDS 5 - Twin-basiertes Facility Management



Die Integration von BIM-Daten in das FM ermöglicht eine umfassende und präzise Darstellung relevanter Gebäudeinformationen. Diese „statischen“ Informationen unterstützen die „dynamischen“ Daten im Betrieb (z.B. Zeitreihen von Temperaturverläufen oder Maschinenzuständen). Durch diese Verknüpfung können intelligente Algorithmen zur Überwachung, Vorhersage und Optimierung des Energieverbrauchs, der Wartungsbedürfnisse und des Raummanagements wesentlich rascher und zuverlässiger entwickelt werden. Die Schaffung eines digitalen Zwillings, der das physische Gebäude mit den BIM-Daten verbindet, beschleunigt auch die Entwicklung von Simulationsmodellen für die Gebäudeoptimierung. Die Verbindung von Echtzeitdaten aus dem Gebäudebetrieb und die Anwendung von Augmented Reality (AR) oder Virtual Reality (VR) vereinfachen Wartungs- und Reparaturarbeiten, sofern die Daten mit dem realen Anlagenzustand abgestimmt sind. Die Herausforderung besteht darin, die Daten aus der Planung und der Gebäudeerrichtung nahtlos in das FM zu integrieren. Hier kommen die Innovationen aus FDS 3 sowie Eigenschaftenkataloge von Bauprodukteigenschaften (FDS 4) zum Tragen, um Datenqualität und -konsistenz, die Lösung von Interoperabilitätsproblemen zwischen verschiedenen BIM-Softwareplattformen und die Entwicklung von Integrationswerkzeugen zu gewährleisten. Außerdem bedarf es einer Zusammenführung bestehender Standards aus der Gebäudeautomation mit den BIM-Standards (siehe auch FDS 3).

Eine herausfordernde Innovation ist die BIM-basierte Ausschreibung von FM-Dienstleistungen. Ein digitales maschinenlesbares Modell ermöglicht eine automatisierte Prüfung von Gebäude und Anlagen und den abgeleiteten FM-Anforderungen. Dadurch wird ein hohes Maß an Transparenz und Vergleichbarkeit in der Ausschreibungsphase erzielt.

Die Integration von BIM-Daten ermöglicht auch ein nutzerorientiertes Facility Management, indem Informationen über die Nutzung und die Bedürfnisse der Gebäudenutzenden erfasst werden. Forschungsfragen umfassen die Entwicklung von Analysewerkzeugen zur Verbesserung der Nutzerzufriedenheit, zur personalisierten Raumgestaltung, zur Überwachung der Raumauslastung und zur Optimierung des Raumklimas.

Ein weiteres Innovationspotenzial liegt in der Lebenszyklusorientierung des Facility Managements. Hier sind Innovationen zur Integration von digitalen Zwillingen in die Instandhaltungs- und Renovierungsplanung, die Nutzung digitaler Zwillinge für Betriebskostenvorhersagen, die Integration von Anlagenmanagementdaten und die Entwicklung von Tools zur Entscheidungsunterstützung für die langfristige Gebäudebewirtschaftung gefragt.

### **7.1.3. Handlungsempfehlungen – Reallabore und Leitprojekte**

Die in Abschnitt 7.1.1 dargestellte Roadmap zeigt ein Gesamtbild, welches schrittweise umgesetzt werden sollte, um die Digitalisierung in der Bau- und Immobilienwirtschaft und die Nutzung digitaler Gebäudezwillinge voranzubringen und die damit verbundenen Chancen und Potentiale für die Realisierung zukunftsfähiger Gebäude zu nutzen. Die Bearbeitung der im Rahmen dieses Sondierungsprojekts aufgeworfenen Themenschwerpunkte und der damit verbundenen technischen und nicht-technischen Forschungsfragen sollte mittels abgestimmten aufeinander aufbauenden kooperativen Forschungs- und Demonstrationsprojekten erfolgen, welche sich entlang der Roadmap (Abbildung 11) einordnen und in Abstimmung mit realen Bauprojekten abgewickelt werden. Wichtig ist, dass diese Forschungs- und Demonstrationsprojekte vor allem auf eine hohe Skalierbarkeit der gezeigten Methoden und Prozesse abzielen. Es soll gezeigt werden, dass innovative Lösungen nicht

nur in einem Projekt funktionieren, sondern breite Akzeptanz und praktische Anwendbarkeit finden können. Teilweise wird dafür eine Anpassung der technischen und organisatorischen Rahmenbedingungen vorzunehmen und vorab zwischen Partnern eines Bauprojekts abzustimmen sein. Dies kann zum Beispiel über Innovationshonorare erfolgen, die im Bauprojekt zur Förderung von innovativen Tools oder Prozessen notwendig sind. Dadurch werden Innovationen nicht bei der ersten Schwierigkeit durch traditionelle und vermeintlich bewährte Vorgänge ersetzt und die Akzeptanz im Bauprojekt wird erhöht.

Die Umsetzung der aufgezeigten Forschungs- und Demonstrationsschwerpunkte kann beispielsweise in Form von Reallaboren erfolgen. Dabei gilt es, die angestrebten Innovationsziele anhand repräsentativer Bau- und Immobilienprojekte zu bearbeiten und multiplizierbare und skalierbare Lösungsansätze zu entwickeln und zu demonstrieren. Ziel solcher Reallabore sollte es sein, innovative Bau- und Immobilienprojekte (Sandbox-Projekte) zu entwickeln und über mehrere Lebenszyklusphasen hinweg wissenschaftlich zu begleiten und zu bewerten, sodass die entwickelten Lösungsansätze und die gewonnenen Erfahrungen zukünftig als Basis für andere vergleichbare Projekte zur Verfügung stehen. Der Schwerpunkt solcher Reallabore sollte daher bei der Demonstration und Dissemination innovativer Lösungen entsprechend der dargelegten Forschungs- und Innovationsschwerpunkte liegen.

Den Ausgangspunkt für die Entwicklung solcher Reallabore können Leitprojekte bilden. Im Rahmen von initialen Leitprojekten können die dafür notwendigen technologischen, prozessualen und formalen Grundlagen, Voraussetzungen und Rahmenbedingungen entwickelt und geschaffen werden. Es wird empfohlen, solchen initialen Leitprojekten die folgenden Kriterien zugrunde zu legen:

- Es müssen mindestens zwei Forschungs- und Innovationsschwerpunkte adressiert werden.
- Dem Projekt muss eine Use-Case-Kette zugrundegelegt sein, bei der zumindest zwei aufeinander aufbauende Use-Cases für die Anwendung eines digitalen Gebäudezwillinges gezeigt werden. Der Nutzen der Use-Case-Kette für unterschiedliche Projektstakeholder muss dargelegt werden. Als mögliche Use-Case-Ketten können die im Rahmen dieses Sondierungsprojekts ausgearbeiteten und in Kapitel 5 dargestellten Use-Case-Ketten herangezogen werden.
- Die gewählten Use-Case-Kette(n) müssen mindestens zwei Lebenszyklusphasen bzw. Projektphasen (Planung | Ausführung | Gebäudenutzung | Rückbau) umfassen. Die durchgängige Daten- und Modellweaternutzung über die Schnittstelle zwischen diesen Lebenszyklusphasen hinweg muss im Rahmen des Projekts gezeigt werden (Datendurchgängigkeit).

Das Leitprojekt muss im Kontext eines oder mehrerer realer Bau- bzw. Immobilienprojekte durchgeführt werden, welche sowohl im Bereich des Neubaus als auch der Sanierung angesiedelt sein können. Für die betrachteten Gebäude ist ein Weiternutzungskonzept als Reallabor auszuarbeiten und vorzulegen, in dem weiterführende Forschungs- und Demonstrationsvorhaben auf Basis der erarbeiteten digitalen Methoden und Modelle durchgeführt werden. Eine entsprechende rechtliche Möglichkeit zur Weiternutzung dieser Daten und Modelle ist sicherzustellen. Neben technologischen und technischen Innovationen sollten auch innovative Lösungsansätze für nicht-technische Fragestellungen (z.B. alternative Vertragsmodelle, Modelle zur partnerschaftlichen Projektabwicklung und Zusammenarbeit, Innovationshonorare, Daten- und

Informationsmanagement-Prozesse etc.) erarbeitet werden, um damit die notwendigen Rahmenbedingungen für das Leitprojekt und generell für eine breite praktische Umsetzung digitaler Innovationen in Bau- und Immobilienprojekten zu schaffen.

## 7.2. Potenzial für Demonstrationsvorhaben

Die im Rahmen dieses Sondierungsprojekts erarbeiteten Use-Case-Ketten und die daraus abgeleiteten übergeordneten Forschungs- und Demonstrationsschwerpunkte weisen ein sehr hohes Potential für Demonstrationsvorhaben auf, welches es im Rahmen von nachfolgenden kooperativen Forschungs- und Demonstrationsprojekten, wie in Abschnitt 7.1.3 erläutert, zu realisieren gilt.

In der Planung ist die ursprüngliche Definition des digitalen Zwillings, nämlich ein Modell der physikalischen Eigenschaften eines Systems (in diesem Fall eines Gebäudes), geeignet, um die Notwendigkeit von Innovationen zu zeigen. FDS 1 und FDS 3 fordern die Datendurchgängigkeit durch offene Datenformate. Simulation ist das Werkzeug, um die Gebäudeperformance oder auch Bauprozesse vorherzusagen und zu optimieren. Sie profitiert maßgeblich von der Datendurchgängigkeit, weil ansonsten der Aufwand der Modellierung sehr hoch ist, was die Anwendung dieser leistungsfähigen Methode in der breiten Praxis hemmt. Erst wenn Simulation als integriertes Werkzeug in Planung und Bau eingesetzt wird und die Modellierung direkt aus den ohnehin erfolgten architektonischen, statischen oder anderen Modellierungen abgeleitet wird, können zum Beispiel Gebäudeperformance-Simulationen oder Mikroklimasimulation regelmäßig im Planungs- und Entscheidungsprozess angefordert werden. Dies bietet ein enormes Potential und große Chancen für die Steigerung der Planungsqualität von Gebäuden sowohl in ökologischer als auch ökonomischer Hinsicht im Neubau wie in der Sanierung. Gleiches gilt für die simulationsbasierte Optimierung während der Inbetriebnahme- und Betriebsphase von Gebäuden.

In der Bau- oder Ausführungsphase bringt der digitale Zwilling eine begleitende Performance-Ermittlung. Entscheidungsprozesse können mit Modellen und Daten unterstützt werden. Dies ermöglicht eine detaillierte und sichere Zeit- und Kostenplanung der Bauausführung und unterstützt innovative Ansätze wie beispielsweise Lean Construction. Integrierte Bauablaufsimulationen ermöglichen eine Optimierung der Bauprozesse anhand des digitalen Zwillings. FDS 2 zielt auf die intrinsisch motivierte Erstellung und Aktualhaltung von as-Built-Modellen in der Bau- und Ausführungsphase ab, welche wiederum die Basis für einen digitalen Zwilling, welcher den tatsächlich errichteten Zustand des Bauwerks abbildet, sind. Durch eine nutzenbringende Verschränkung von Anwendungsfällen wie z.B. modellbasierte Abrechnung entsteht eine hohe Motivation unter allen Projektbeteiligten für die Erstellung und Pflege von as-Built-Modellen. Die Verfügbarkeit solcher Modelle bietet wiederum enorme Möglichkeiten hinsichtlich der Weiterentwicklung von Baustellenprozessen und eine Steigerung der Ausführungsqualität. Die Verschränkung von IoT-Daten aus dem Baustellenbetrieb mit dem digitalen Bauwerksmodell ermöglicht eine effiziente und zielorientierte Steuerung der Baustellenprozesse. Des Weiteren ermöglicht ein aktuell gehaltener digitaler Zwilling die Forcierung von Robotik auf der Baustelle, was wiederum eine Motivation für die so wichtige durchgängige Anwendung von Gebäudemodellen (FDS 1) darstellt.

Die Verfügbarkeit aktualisierter Gebäudemodelle, welche den tatsächlich errichteten Zustand eines Gebäudes abbilden, ist eine wesentliche Grundlage für die breite Etablierung einer leistungsfähigen

Kreislaufwirtschaft im Bau- und Immobilienwesen. Am Ende der in der Regel sehr langen Nutzungsdauer einer Immobilie sind einfach verfügbare Informationen hinsichtlich verbauter Materialien und Komponenten notwendig, um diese einer Wiederverwertung auf unterschiedlichen Ebenen zuführen zu können. FDS 4 adressiert das lebenszyklusorientierte Management von Bauprodukten und Bauteilen. Hierbei werden vor allem auch die Potentiale vorgefertigter Komponenten und Bauteile angesprochen, deren Anwendung nicht nur Vorteile im Bauablauf hinsichtlich Effizienz- und Qualitätssteigerungen bietet, sondern auch ein Schließen des Kreislaufs erleichtert.

Die Brücke zwischen der Inbetriebnahme und dem Rückbau ist die im Lebenszyklus eines Gebäudes entscheidende Phase des Gebäudebetriebs. FDS 5 fokussiert auf die Entwicklung und Etablierung eines Facility Managements basierend auf digitalen Zwillingen. Hier bieten sich große Chancen im Bereich von lebenszyklusbegleitendem Benchmarking und KI-gestützter Optimierung mittels Verschränkung von BIM-basierten Planungsdaten mit dynamischen Daten aus Gebäudeautomation und IoT. Damit kann die Nutzungsqualität von Gebäuden signifikant verbessert werden, sowohl was die Aufenthaltsqualität für die Nutzenden als auch die Qualität des Betriebs in ökologischer und ökonomischer Hinsicht bedeutet. Die Verfügbarkeit aktuell gehaltener digitaler Zwillinge für den Gebäudebetrieb ermöglicht außerdem die Etablierung innovativer neuer Dienstleistungen und Services, z.B. im Bereich der Gebäudeoptimierung und Instandhaltung oder der Indoor-Navigation.

Auf dem Weg zur breiten praktischen Anwendung und Etablierung des digitalen Zwillings in der Bau- und Immobilienwirtschaft und der Realisierung der damit verbundenen Innovationen, Chancen und Potentiale müssen Herausforderungen und Barrieren überwunden werden, welche auch Risiken in sich bergen. Diese Herausforderungen und Risiken wurden im Rahmen des Sondierungsprojekts detailliert im Rahmen der Ausarbeitung der Use-Case-Ketten betrachtet (siehe Kapitel 5). Sie sind oft auch nicht-technischer Natur und umfassen Aspekte wie rechtliche Rahmenbedingungen und Vertragsmodelle, Datenschutz, Know-how der beteiligten Unternehmen sowie Kompetenz und Erfahrung von deren Mitarbeitenden, Projektorganisation und Projektmanagement etc. Auch für diese Aspekte werden innovative und skalierbare Lösungen gebraucht, um die Vorteile der Digitalisierung und des digitalen Zwillings in der Bau- und Immobilienwirtschaft in der Praxis in die breite Anwendung zu bringen. Die Adressierung dieser Herausforderungen sollte daher ein integraler Bestandteil zukünftiger Forschungs- und Demonstrationsprojekte sein. Die im Rahmen dieses Sondierungsprojekts geführten Expert\*innen-Interviews zeigen, dass auch für diese nicht-technischen Herausforderungen die notwendigen Methoden und Werkzeuge (weiter-)entwickelt und in die Anwendung gebracht werden können. Was jedoch dringend benötigt wird, sind gut dokumentierte Best-Practice-Beispiele mit offenem Zugang zu den verwendeten Lösungsansätzen und gewonnenen Erfahrungen und Erkenntnissen.

Die Umsetzung von Forschungs- und Demonstrationsprojekten zur Erarbeitung und Dokumentation von Best-Practices sollte schrittweise und aufeinander aufbauend erfolgen, wie in der in diesem Sondierungsprojekt entwickelten Roadmap dargestellt. Es sollte darauf geachtet werden, dass die in Forschungs- und Demonstrationsprojekten bearbeiteten Themenstellungen eine handhabbare Komplexität aufweisen, die eine nachfolgende Diffusion der erarbeiteten Methoden und Ansätze in die Praxis ermöglicht. Durch eine zielgerichtete gemeinsame Entwicklung und Demonstration innovativer technischer und nicht-technischer Lösungsansätze im Rahmen geförderter Forschungs- und Demonstrationsprojekte und daraus abgeleiteter Best-Practices kann die Basis für die

notwendige breite und durchgängige Nutzung leistungsfähiger digitaler Methoden für die Realisierung zukunftsfähiger Gebäude im Neubau und in der Sanierung gelegt werden.

# 8 Verzeichnisse

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Stakeholder-Bewertung der Use-Case-Ketten.....	26
Abbildung 2: Kompetenzübersicht für die UCK smart.tag am Beispiel von HKLS-Komponenten.....	33
Abbildung 3: Kompetenzübersicht für die UCK open.fab am Beispiel von HKLS-Komponenten.....	39
Abbildung 4: Kompetenzübersicht für die UCK asBuilt2Work.....	46
Abbildung 5: Use-Case-Kette enEff.....	48
Abbildung 6: Abhängigkeiten der Use-Case-Kette enEff innerhalb der Projektphasen.....	49
Abbildung 7: Kompetenzübersicht für die UCK enEff.....	52
Abbildung 8: Use-Case-Kette BTWIN.....	54
Abbildung 9: Kompetenzübersicht für die UCK BTWIN.....	59
Abbildung 10: Zusammenfassende Kompetenzübersicht für alle Use-Case-Ketten.....	66
Abbildung 11: Roadmap Digital Twin.....	71
Abbildung 12: FDS 1 - Digitale Werkzeuge und Prozesse zur Realisierung von Datendurchgängigkeit	72
Abbildung 13: FDS 2 - Bauablaufintegrierte Erstellung von as-Built-Modellen.....	74
Abbildung 14: FDS 3 - Weiterentwicklung von openBIM-Datenformaten.....	75
Abbildung 15: FDS 4 - Lebenszyklusorientiertes Management von Bauprodukten und Bauteilen.....	76
Abbildung 16: FDS 5 - Twin-basiertes Facility Management.....	77

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ausgearbeitete Use-Case-Ketten für digitale Gebäudezwillinge.....	24
--	----

## Literaturverzeichnis

Abeykoon, V., Kankanamdurage, N., Senevirathna, A., Ranaweera, P., Udawapola, R.: Real Time identification of Electrical Devices through Power Consumption Pattern Detection. IEEE Computer Society, doi: 10.1109/MNTMSim.2016.13, Kuala Lumpur 2016.

Alonso, R., Borrás, M., Koppelaar, R.H.E.M., Lodigiani, A., Loscos, E., Yöntem, E.: SPHERE: BIM digital twin platform. In: Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings. Vol. 20, No. 1, Page 9, 2019.

ARROWHEAD: Arrowhead Tools Project Webseite, URL: <https://www.arrowhead.eu> (abgerufen am 25.01.2024, 17:00).

ARTWIN: Projekt Concept & Objectives, URL: <https://artwin-project.eu/index.php/concept-objectives/> (abgerufen am 25.01.2024 um 17:01).

BIM2TWIN: Projekt Webseite, URL: <https://www.unismart.it/bim2twin/> (abgerufen am 25.01.2024 um 17:02).

Building Radar: Lebenszykluskosten einfach erklärt, URL: <https://buildingradar.com/de/construction-blog/lebenszykluskosten/> (abgerufen am 25.1.2024 um 17:40)

Cejka, S., Knorr, F., Kintzler, F.: Privacy issues in smart buildings by examples in smart metering, In: 25th International Conference on Electricity Distribution (CIRED), Madrid 2019.

Cejka, S.: Vorschläge für Datenschutz und Privatsphäre bei Smart Metern und deren Umsetzung im österreichischen Recht, In: Jusletter IT, 2017.

Digital Findet Stadt: Technologiereport: Digitalisierung der Bau- und Immobilienbranche, URL: <https://www.digitalfindetstadt.at/news/news/technologiereport-digitalisierung-der-bau-und-immobilienbranche> (abgerufen am 25.1.2024 um 17:25).

Digital Findet Stadt: Technologiereport: Digitalisierung der Bau- und Immobilienbranche, URL: <https://www.digitalfindetstadt.at/innovationsdatenbank/as-built-modell-dokumentation> (abgerufen am 25.1.2024 um 17:26).

Digital Findet Stadt: Technologiereport: BIM Use-Cases im Gebäudebetrieb, URL: [https://www.digitalfindetstadt.at/fileadmin/user\\_upload/Bim\\_use\\_cases\\_Gebaeudebetrieb\\_Digital\\_Findet\\_Stadt\\_28012022.pdf](https://www.digitalfindetstadt.at/fileadmin/user_upload/Bim_use_cases_Gebaeudebetrieb_Digital_Findet_Stadt_28012022.pdf) (abgerufen am 25.1.2024 um 17:27).

DigitalTwinConsortium: Consortium Webseite, URL: <https://www.digitaltwinconsortium.org/about-us> (abgerufen am 25.01.2024 um 17:03)

DIGITALER ZWILLING: URL: <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/sdz/projekte/digitaler-zwilling.php> (abgerufen am 25.01.2024 um 17:04).

Ford, D. N., Wolf, C. M.: Smart cities with digital twin systems for disaster management. In: Journal of Management in Engineering. Vol. 36, No. 4, Page 04020027-1 bis 04020027-10, 2020.

Garetti, M., Rosa, P., Terzi, S.: Life cycle simulation for the design of product–service systems. In: Computers in Industry, Vol. 63, No. 4, Pages 361-369, 2012.

Greveler, U., Glösekötter, P., Justus, B., Loehr, D.: Multimedia content identification through smart meter power usage profiles. In: Proceedings of the International Conference on Information and Knowledge Engineering (IKE), 2012.

Grieves, M.: Digital twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication. White paper, 2014.

Glaessgen, E., Stargel, D.: The digital twin paradigm for future NASA and US Air Force vehicles. In: 53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC structures, structural dynamics and materials conference 20th AIAA/ASME/AHS adaptive structures conference 14th AIAA. Page 1818, doi: [10.2514/6.2012-1818](https://doi.org/10.2514/6.2012-1818), 2012.

Hauer, S., Horn, P., Preisler, A., Heisinger, F., Schwahofer, H., Frey, A., Gassner, M.: Prüfstand für energieeffiziente Automation und Regelung von Gebäuden. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Nr. 58, Wien 2019.

Jones, D., Snider, C., Nassehi, A., Yon, J., Hicks, B.: Characterising the Digital Twin: A systematic literature review. In: CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology. Vol. 29, Part: A, Pages 36-52, doi: 10.1016/j.cirpj.2020.02.002, 2020.

Kotarba, M.: Measuring digitalization–key metrics. In: Foundations of Management. Vol. 9, Pages 123-138, doi: 10.1515/fman-2017-0010, 2017.

Laakso, M., Kiviniemi, A. O.: The IFC standard: A review of history, development, and standardization, information technology. In: Electronic Journal of Information Technology in Construction. Vol. 17, Pages 134-161, 2012.

Lu, Q., Parlikad, A. K., Woodall, P., Ranasinghe, D., Xie, X., Liang, Z., Konstantinou, E., Heaton, J., Schooling, J.: Developing a digital twin at building and city levels: A case study of West Cambridge campus. In: Journal of Management in Engineering. Vol. 36, Pages 05020004-1-05020004-19, doi: 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000763, 2019.

Maurer, T.: "What is a digital twin?", URL: <https://community.plm.automation.siemens.com/t5/Digital-Twin-KnowledgeBase/What-is-a-digital-twin/tap/432960> (abgerufen am 22.02.2021 um 8:15).

Molina-Markham, A., Shenoy, P., Fu, K., Cecchet, E., Irwin, D.: Private memoirs of a smart meter. BuildSys '10. In: Proceedings of the 2nd ACM Workshop on Embedded Sensing Systems for Energy-Efficiency in Building. Pages 61-66, doi: 10.1145/1878431.1878446, New York 2010.

Morin, E., Maman, M., Guizzetti, R., Duda A.: Comparison of the Device Lifetime in Wireless Networks for the Internet of Things. In: IEEE Access. Vol. 5, pp. 7097-7114, doi: 10.1109/ACCESS.2017.2688279, 2017.

Schrotter, G., Hürzeler, C.: The digital twin of the city of Zurich for urban planning. In: PFG–Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science. Vol. 88, Pages 1-14, doi: 10.1007/s41064-020-00092-2, 2020.

Shirowzhan, S., Tan, W., Sepasgozar, S. M.: Digital twin and CyberGIS for improving connectivity and measuring the impact of infrastructure construction planning in smart cities. In: ISPRS – International Journal of Geo-Information. Vol. 9, doi: 10.3390/ijgi9040240, 2020.

Sphere-Projekt: Projekt Webseite, URL: <https://sphere-project.eu/> (abgerufen am 25.01.2024 um 17:05)

Qu, T., Sun, W.: Usage of 3D point cloud data in BIM (Building Information Modelling) Current applications and challenges. In: Journal of Civil Engineering and Architecture. Vol. 9, Nr. 11, Pages 1269-1278, doi: 10.17265/1934-7359/2015.11.001, 2015.

Tao, F., Zhang, M., Cheng, J., Qi, Q.: Digital twin workshop: a new paradigm for future workshop. In: Computer Integrated Manufacturing Systems. Vol. 23, Nr. 1, Pages 1-9, doi: 10.13196/j.cims.2017.01.001, 2017.

Tian, W., Rysanek, A., Choudhary, R., Heo, Y.: High resolution energy simulations at city scale. In: 14th Conference of International Building Performance Simulation Association, BS 2015, Pages 239-246, India 2015.

TwinsForBuiltEnvironment: Projekt Webseite, URL: <https://www.turing.ac.uk/research/research-projects/digital-twins-built-environment> (abgerufen am 25.01.2024 um 17:05)

Wilkinson, M., Dumontier, M., Aalbersberg, I. et al.: The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship,. Sci Data 3, 160018, <https://doi.org/10.1038/sdata.2016.18>, 2016.

## Abkürzungsverzeichnis

AEC	Architecture, Engineering and Construction
AG	Auftraggeber
AI	Artificial Intelligence
AIM	Asset Information Model
AIA	Austausch-Informationsanforderung
AKS	Anlagenkennzeichnungssystem
AR	Augmented Reality
AT	Architektur
AVA	Ausschreibung, Vergabe und Abrechnung
BAP	BIM-Abwicklungsplan
BEM	Building Energy Model
BIM	Building Information Modeling
BLE	Bluetooth Low Energy
CDE	Common Data Environment
ET	Elektrotechnik
FBA	Fachbauaufsicht
FE&D	Forschung, Entwicklung & Demonstration
FDS	Forschungs- und Demonstrationsschwerpunkt
FM	Facility Management
GIS	Geoinformationssysteme
GPS	Global Positioning System
GUI	Graphical User Interface
HIL	Hardware in the Loop
HLK	Heizung, Lüftung, Klimatechnik
HKLS	Heizung, Klima, Lüftung, Sanitär
HT	Haustechnik
IDDS	Integrated Design and Delivery Solutions
IFC	Industry Foundation Classes
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
IoT	Internet-of-Things (Internet der Dinge)

AEC	Architecture, Engineering and Construction
KI	Künstliche Intelligenz
KPI	Key Performance Indicator
LoRa	Long Range Wide Area Network
MSR	Mess-, Steuerungs-, Regelungstechnik
NFC	Near Field Communication
ÖBA	Örtliche Bauaufsicht
OMG	Object Management Group
PaaS	Platform-as-a-Service
PS	Projektsteuerung
PSM	Project Status Model
QR (Code)	Quick Response (Code)
RFID	Radio-Frequency Identification
TGA	Technische Gebäudeausrüstung
TP	Tragwerksplanung
UCK	Use-Case-Kette
UWB	Ultra-wideband

